

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA
ASFÁLTICA TIPO MD-12 USANDO GEOSINTÉTICOS.**



**Yeison Arbey Alayon Barbosa - 150846
Jeisson Arnulfo Olivos Tunarosa - 150845**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2019**

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA
ASFÁLTICA TIPO MD-12 USANDO GEOSINTÉTICOS.

Yeison Arbey Alayon Barbosa - 150846
Jeisson Arnulfo Olivos Tunarosa - 150845

Trabajo presentado como proyecto de grado, para optar al título de especialista
en Ingeniería de Pavimentos.

Director:
ING. JUAN GABRIEL BASTIDAS

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 10 de junio de 2019.

Este trabajo es dedicado a nuestras familias, por cuanto todo su apoyo en la formación académica fue esencial para sacar adelante nuestros sueños para un futuro mejor. A nuestros amigos, y a Dios por darnos la posibilidad de llegar a esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los profesores de la universidad católica de Colombia, ingeniero Juan Bastidas, Ingeniero Freddy Rodríguez, Ing. David Bernal, quienes fueron guía y apoyo para el desarrollo profesional y en la formación académica adquirida a la especialización.

A nuestras familias, por enseñarnos la importancia de la perseverancia en la consecución de nuestros objetivos.

Al Hugo Rondón padre, quien con sus amplios conocimientos fue una guía importante en la consecución de este proyecto de grado, de igual forma su experiencia incentivó el continuo proceso de adquirir conocimientos relacionados con los pavimentos asfálticos.

Un agradecimiento especial al ingeniero Antonio Cortaza y a Sindy Omaira Aguilar, quienes, con su apoyo con la materia prima de este proyecto, ayudaron a la generación de los resultados analizados en este documento.

En general a todos los que se vieron involucrados con este trabajo, les agradecemos profundamente por su apoyo y compromiso.

GLOSARIO¹

ACOPIAR: Juntar, reunir en cantidad algo.

AGLOMERANTE. O ligante, material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico.

ALCANTARILLADO: Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales y/o de las aguas lluvias.

ARBORIZACIÓN: Siembra de árboles destinado a un fin específico de paisajismo.

ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO: Zona donde se desarrolla las obras y las áreas por donde transitan las volquetas o equipos en el desarrollo el proyecto.

ASENTAMIENTOS. Es el desplazamiento vertical relativo del suelo ante la imposición de cargas, la disipación de presiones, la acción del drenaje, etc. Los asentamientos afectan de manera grave la estabilidad de las estructuras.

BANCA: Distancia horizontal, medida normalmente al eje, entre los extremos exteriores de las cunetas o los bordes laterales.

BASE DE TOPOGRAFÍA. Punto del corredor de ruta, de coordenadas x, y z conocidas, que sirve como estación para el levantamiento topográfico de dicho corredor y eventualmente en las etapas de localización del proyecto.

CALZADA. Zona de la vía destinada a la circulación de los vehículos.

CAPACIDAD PORTANTE. Es la capacidad del suelo de fundación de soportar las cargas sin que se produzca la falla de este.

CARRETERA. Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

CORONA. Corresponde al conjunto formado por la calzada y las bermas.

¹ Instituto Nacional de Vías, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras

COLUVIÓN. Depósito de materiales transportados por la acción de diferentes mecanismos como la gravedad, el agua y el viento, o una combinación de ellos.

CUNETA: Canal, de sección triangular o rectangular, paralelo al eje de la vía ubicado entre el sardinel y la calzada de una calle, destinado a recoger y conducir por gravedad las aguas pluviales desde la superficie de rodamiento y en algunos casos, desde terrenos aledaños, hacia los sumideros y alcantarillas.

DERECHO DE VÍA. Faja de terreno destinada a la construcción de la vía y sus futuras ampliaciones.

DIACLASA. Discontinuidad de la roca originada por fuerzas tectónicas, que no implica desplazamientos significantes.

DISEÑO EN PLANTA. Proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por trayectorias curvas.

DISEÑO EN PERFIL. Proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo.

DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL. Definición de la ubicación y dimensiones de los elementos que forman la carretera, y su relación con el terreno natural, en cada punto de ella sobre una sección normal al alineamiento horizontal.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. Estudio cuya finalidad es la determinación detallada de los efectos producidos por el proyecto vial, la elaboración del Plan de Manejo Ambiental, y el cálculo de los costos de las obras de mitigación ambiental.

GÁLIBO. Altura existente entre el fondo de viga y el fondo del lecho en el caso del cruce sobre ríos o esteras. En pasos a desnivel sobre un camino, es la distancia entre la menor cota de fondo de vigas y la cota más alta del pavimento del camino sobre el cual se cruza.

GEOMALLA. Las geomallas ayudan a la construcción de carreteras ya que se pueden utilizar para diferentes funciones brindando ventajas técnicas de reforzamiento y estabilización.

GEOSINTETICOS. Son materiales, principalmente fabricados con productos derivados del petróleo, originalmente usados en aplicaciones de ingeniería geotecnia, utilizados para mejorar, cambiar o mantener las características del suelo con el que interactúan.

IRI. El índice de regularidad internacional es un indicador para determinar la regularidad y comodidad en la conducción de una vía, y representa la desviación de la superficie de capa de rodadura respecto a una superficie plana teórica.

LIGANTE. O Aglomerante.

METEORIZACIÓN. Proceso de degradación de una roca debido a la acción de factores físicos, químicos o biológicos.

MODULO ELÁSTICO². O módulo de elasticidad, o módulo resiliente en una mezcla bituminosa. Nos ofrece información sobre la capacidad de recuperación del pavimento en relación a la aplicación de cargas (resistencia a la fatiga). Por lo general, un pavimento no es completamente elástico y experimenta deformaciones permanentes con la aplicación de cargas. Sin embargo, si la carga es pequeña con respecto a la resistencia del material y se aplica un número grande de repeticiones, la deformación bajo cada aplicación de carga es casi completamente recuperable, proporcional a la carga y puede ser considerada elástica.

NIVEL DE SERVICIO. Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular en relación con variables tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, los deseos del usuario y la seguridad vial.

OBRAS DE DRENAJE. Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado.

OBRAS DE SUBDRENAJE. Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua del suelo a fin de garantizar la estabilidad de la banca y de los taludes de la carretera. Ello se consigue interceptando los flujos subterráneos, y haciendo descender el nivel freático.

PAVIMENTO. Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la Subrasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñado de igual forma debe resistir el efecto degradante de los agentes climáticos.

PAVIMENTO FLEXIBLE. Tipo de pavimento constituido por una capa de rodadura bituminosa apoyada generalmente sobre capas de material no ligado.

² Guía De Pavimentos Asfálticos Para Vías De Baja Intensidad De Tráfico, Página 114

PAVIMENTO RÍGIDO. Es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido.

PAVIMENTO ARTICULADO: Pavimento en la que la capa de rodadura está conformado por adoquines.

PERALTE. Inclinación dada al perfil transversal de una carretera en los tramos en curva horizontal para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento. También contribuye al escurrimiento del agua lluvia.

RASANTE. Es la proyección vertical del desarrollo del eje de la superficie de rodadura de la vía.

REPLANTEO. Actividades topográficas encaminadas a localizar un proyecto vial en el terreno para su posterior construcción. Se apoya en los planos de diseño y en las bases de topografía empleadas previamente en el levantamiento del corredor vial.

RIEGO DE LIGA. Aplicación de un riego asfáltico, de manera uniforme y controlada sobre una superficie asfáltica, de concreto hidráulico, o cualesquier otra superficie nivelada y compactada, previa a la colocación de otra capa bituminosa, para facilitar la adherencia entre ambas, de acuerdo con las especificaciones técnicas.

SOBREANCHO. Aumento en la sección transversal de una calzada en las curvas, con la finalidad de mantener la distancia lateral entre los vehículos en movimiento.

SUBRASANTE. Superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento.

CONTENIDO

| | Pag. |
|--|------|
| RESUMEN..... | 16 |
| ABSTRACT | 17 |
| INTRODUCCION..... | 18 |
| 1. GENERALIDADES | 20 |
| 1.1. ANTECEDENTES GENERALES | 20 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 25 |
| 3. OBJETIVOS..... | 27 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL | 27 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 27 |
| 4. JUSTIFICACION..... | 28 |
| 5. DELIMITACIÓN | 29 |
| 5.1. ESPACIO..... | 29 |
| 5.2. TIEMPO | 29 |
| 5.3. CONTENIDO | 29 |
| 5.4. ALCANCE | 29 |
| 6. ESTADO DEL ARTE | 30 |
| 7. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL | 33 |
| 7.1. TIPOS DE PAVIMENTO..... | 33 |
| 7.2. ELEMENTOS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE..... | 34 |
| 7.2.1. SUBRASANTE | 34 |
| 7.2.2. SUBBASE | 34 |
| 7.2.3. BASE..... | 35 |
| 7.2.4. SUPERFICIE DE RODADURA | 35 |
| 7.3. CAPAS ASFÁLTICAS | 36 |
| 7.3.1. MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO..... | 36 |
| 7.3.2. MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE..... | 36 |
| 7.3.3. RIESGOS ASFÁLTICOS | 36 |
| 7.3.4. SELLO ASFÁLTICO..... | 36 |
| 7.4. REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EXISTENTES | 37 |
| 7.4.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES | 37 |
| 7.4.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS | 37 |
| 7.4.3. SOBRECARPETAS (RECAPEOS) | 38 |
| 7.4.4. DISEÑO DE RECAPEOS POR EL MÉTODO DE AASHTO..... | 40 |
| 7.5. GEOSINTÉTICOS | 41 |
| 7.5.1. GEOMALLAS O GEOGRILLAS | 41 |
| 7.5.2. AGRIETAMIENTO DE UN PAVIMENTO | 43 |
| 7.5.3. RETARDACIÓN DE GRIETAS REFLECTIVAS..... | 44 |
| 7.5.4. RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO POR FATIGA | 45 |
| 7.5.5. PREPARACIÓN DEL PAVIMENTO PARA LA COLOCACIÓN DE LAS GEOMALLAS | 47 |
| 7.5.6. INSTALANDO LAS GEOMALLAS DE PAVIMENTO | 47 |

| | | |
|----------|--|----|
| 7.6. | LIGANTE ASFÁLTICO..... | 47 |
| 7.7. | EQUIPO | 48 |
| 7.8. | PERSONAL..... | 48 |
| 7.9. | SECUENCIA DE INSTALACIÓN | 48 |
| 7.9.1. | LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE Y REPARACIÓN DE GRIETAS..... | 48 |
| 7.9.2. | TASA Y FORMA DE APLICACIÓN DEL LIGANTE ASFÁLTICO | 49 |
| 7.9.3. | TEMPERATURAS DE TRABAJO | 49 |
| 7.9.4. | COLOCACIÓN DE LA GEOMALLA..... | 50 |
| 7.9.5. | COLOCACIÓN DE LA NUEVA CAPA ASFÁLTICA | 51 |
| 7.10. | ASPECTOS TÉCNICOS A TENER EN CUENTA | 51 |
| 7.11. | CALIDAD DE LA GEOMALLA..... | 53 |
| 7.12. | FACTORES QUE INFLUYEN EN GEOSINTÉTICOS ADHERENCIA - ASFALTO DE MEZCLA | 53 |
| 8. | NORMATIVIDAD VIGENTE SOBRE USO DE LAS GEOMALLAS..... | 55 |
| 9. | METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO..... | 56 |
| 9.1. | PROCESOS DE CAMPO IMPLEMENTADOS | 57 |
| 9.1.1. | FORMALETAS UTILIZADAS. | 58 |
| 9.2. | CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES | 64 |
| 9.2.1. | BASE GRANULAR - BG-B | 64 |
| 9.2.2. | ASFALTO | 72 |
| 9.2.2.1. | AGREGADOS PÉTREOS Y LLENANTE MINERAL | 72 |
| 9.2.2.2. | BETÚN ASFÁLTICO - BITUMEN..... | 76 |
| 9.2.3. | MEZCLA ASFÁLTICA | 77 |
| 9.2.4. | GEOMALLA BIAXIAL..... | 80 |
| 10. | RESULTADOS Y ANÁLISIS | 82 |
| 11. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 87 |
| 12. | BIBLIOGRAFIA..... | 89 |

LISTADO DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| FIGURA 1. FALLA DE VIGAS, ESTUDIO LUBINDA F. WALUBITA | 31 |
| FIGURA 2. RESULTADOS, ESTUDIO LUBINDA F. WALUBITA | 32 |
| FIGURA 3. RESUMEN DE RESULTADOS, ESTUDIO LUBINDA F. WALUBITA..... | 32 |
| FIGURA 4. ESQUEMA DE COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS | 33 |
| FIGURA 5. TIPOS DE SUPERFICIES DE RODADURA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES..... | 35 |
| FIGURA 6. TIPOS DE REHABILITACIONES | 37 |
| FIGURA 7.DEFLEXIONES MÁXIMAS PERMISIBLES..... | 39 |
| FIGURA 8.FALLAS Y REPARACIÓN PROPUESTA. | 39 |
| FIGURA 9. GEOMALLA EN FIBRA DE VIDRIO | 42 |
| FIGURA 10. AGRIETAMIENTO DE PAVIMENTO. | 43 |
| FIGURA 11.ILUSTRACIÓN DE GRIETAS EN EL PAVIMENTO | 45 |
| FIGURA 12.LA GEOMALLA DE PAVIMENTACIÓN ENTRE CAPAS DE ASFALTO. | 46 |
| FIGURA 13. CARPETA ASFÁLTICA SIN GEOMALLA | 46 |
| FIGURA 14. TRASLAPES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES. | 51 |
| FIGURA 15. MECANISMOS DE FALLO PARA LOS PROBLEMAS DE ADHERENCIA | 54 |
| FIGURA 16. ESTRUCTURA TIPO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIAS ARTERIALES O INTERMEDIAS | 55 |
| FIGURA 17. METODOLOGÍA Y PROCESOS DE TRABAJO | 56 |
| FIGURA 18. PROCESOS DE CAMPO REALIZADOS | 57 |
| FIGURA 19. IDEA FUNDAMENTAL DEL MODELO FÍSICO..... | 57 |
| FIGURA 20. IDEA FUNDAMENTAL DEL MODELO FÍSICO..... | 58 |
| FIGURA 21. PREPARACIÓN DE TERRENO | 59 |
| FIGURA 22. ELABORACIÓN DE PLACAS..... | 59 |
| FIGURA 23.CAPA DE RODADURA | 60 |
| FIGURA 24.INSTALACIÓN GEOMALLA..... | 61 |
| FIGURA 25.CAPA DE RODADURA | 61 |
| FIGURA 26.COMPACTACION DE MEZCLA ASFALTICA | 62 |
| FIGURA 27.COMPACTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA | 62 |
| FIGURA 28. ELABORACIÓN FORMALETA | 63 |
| FIGURA 29. PISÓN DE COMPACTACIÓN DE BASE GRANULAR..... | 63 |
| FIGURA 30. GRANULOMETRÍA DE BASE GRANULAR. | 68 |
| FIGURA 31: ENSAYO DE CBR | 70 |
| FIGURA 32. GRANULOMETRÍA DE BASE GRANULAR. | 71 |
| FIGURA 33. LIMITES DE ATTERBERG..... | 71 |
| FIGURA 34. LOCALIZACIÓN DE LA CANTERA | 73 |
| FIGURA 35. PLANO GEOLÓGICO LOCALIZACIÓN DE LA CANTERA DE MATERIAL PÉTREO..... | 73 |
| FIGURA 36. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MD-12 | 75 |
| FIGURA 37. EQUIVALENTE DE ARENA EN AGREGADO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MD-12 | 76 |
| FIGURA 38. CONTENIDO DE ASFALTO..... | 77 |
| FIGURA 39. MUESTRA SIN REFUERZO Y CON BASE GRANULAR..... | 82 |
| FIGURA 40. MUESTRA CON REFUERZO Y CON BASE GRANULAR..... | 83 |
| FIGURA 41. MODELO FÍSICO CON ESTRUCTURA | 83 |
| FIGURA 42. MUESTRA SIN BASE GRANULAR..... | 84 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 43. MODELO FÍSICO SIN ESTRUCTURA | 85 |
| FIGURA 44. CALCULO DE RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFALTICA EN EL MODELO FISICO | 86 |

LISTADO DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| TABLA 1: ESTADO DE LA RED VIAL (JULIO 2013)..... | 21 |
| TABLA 2: ESTADO DE LA RED VIAL (DICIEMBRE 2018)..... | 21 |
| TABLA 3. ENSAYO REALIZADO EN EL AÑO 2017 POR TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE | 23 |
| TABLA 4. NORMAS POR UTILIZAR PARA REQUERIMIENTOS DE LAS GEOMALLAS..... | 43 |
| TABLA 5: USO TÍPICO DE LAS DIFERENTES CLASES DE BASE GRANULAR | 65 |
| TABLA 6: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL BASE GRANULAR BG-B..... | 66 |
| TABLA 7: GRANULOMETRÍA DE BASE GRANULAR BG-B | 67 |
| TABLA 8: DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES, BG-B | 69 |
| TABLA 9: ENSAYO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA POR EL MÉTODO DEL 10 % DE FINOS..... | 69 |
| TABLA 10: ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN..... | 70 |
| TABLA 11: DENOMINACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA..... | 72 |
| TABLA 12: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PÉTREO DE CARPETA ASFÁLTICA..... | 74 |
| TABLA 13 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MD-12 | 75 |
| TABLA 14: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PÉTREO DE CARPETA ASFÁLTICA..... | 76 |
| TABLA 15: RELACIÓN ESTABILIDAD / FLUJO MEZCLA ASFÁLTICA | 77 |
| TABLA 16: RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL | 77 |
| TABLA 17: PROBETAS UTILIZADAS PARA ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA..... | 78 |
| TABLA 18: ENSAYO DE PÉRDIDA POR DESGASTE - CÁNTABRO..... | 79 |
| TABLA 19 : REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE LAS GEOMALLAS PARA CAPAS ASFÁLTICAS. | 80 |
| TABLA 20: PROPIEDADES FÍSICAS DE GEOMALLAS FORTGRID ASPHALT – GEOMATRIX. | 81 |

RESUMEN

El desarrollo continuo de las industrias automotrices, el crecimiento económico del país en general, beneficia e impulsa la compra de vehículos en las familias de estratos económicos tradicionales o de nivel medio; el aumento considerable en el parque automotor en las grandes urbes del país, ocasionan la congestión en las vías en general.

El aumento progresivo de automóviles no se ve reflejado en kilómetros de nuevas vías en las ciudades, por ende, las congestiones vehiculares son algo inevitable en horas pico en las grandes ciudades del país, la necesidad construir nuevas carreteras debería ser la política que dé el rumbo de progreso en las actividades económicas de la nación.

La realidad del país, deslumbra un horizonte lejano a tener carreteras en optimo estado que satisfagan las necesidades del parque automotor en continuo aumento, por el contrario, las vías se deterioran sin un control o mantenimiento adecuado, por ende, este proyecto pretende dar un enfoque a la implementación de geomallas que permitan alargar la vida útil de los mismos, para que esto sirva de plataforma de implementación en las políticas de gestión de pavimentos.

En este proyecto, se plantea ensayos relacionados al enfoque del control de la fatiga en pavimentos flexibles, implementando geosintéticos (Geomalla Biaxial para mezcla asfáltica) resultados que demuestren que la implementación de los mismos ayuda a aumentar la vida útil de pavimentos, direccionando el análisis a políticas de mantenimiento preventivo que ayuden a mantener y no rehabilitar los pavimentos, entendiendo que la segunda opción le cuesta mucho más a los contribuyentes, generando políticas reactivas y no preventivas, esta última es la más beneficiosa para el desarrollo comercial y económico de la nación.

ABSTRACT

The continuous development of the automotive, economic growth in the country at large, benefits and encourages the purchase of vehicles in the families of traditional economic strata to intermediate; the considerable increase in the vehicle fleet in major cities of the country, causing congestion on roads in general.

The progressive increase of cars is not reflected in kilometers of new roads in the cities; therefore, vehicle congestion is inevitable at peak hours in the large cities of the country, the need to build new roads should be the policy of the course of progress in the economic activities of the nation.

The reality of the country, dazzles a distant horizon to have high-quality roads that meet the needs of the ever-growing automotive fleet, on the contrary, the roads deteriorate without proper control or maintenance, therefore, this project aims to give a to the implementation of geogrids that allow to extend their useful life, so that this will serve as an implementation platform in the pavement management policies.

In this project, it is proposed trials related to the fatigue control approach in flexible pavements, implementing geosynthetics (Biaxial Geogrid for asphalt mixing) results that demonstrate that the implementation of them helps to increase the useful life of pavements, routing the analysis to preventive maintenance policies that help maintain and not rehabilitate pavements, understanding that the second option costs taxpayers much more, generating reactive and non-preventive policies, the latter being the most beneficial for the commercial and economic development of the nation.

INTRODUCCION

Dentro de las causas principales de afectación en las carpetas asfálticas que se controlan, la fatiga y el ahuellamiento juegan un papel fundamental a la hora de la evaluación estructural de un pavimento, de igual forma, el tener un control preciso de la fatiga en las mezclas asfálticas impera dentro de las necesidades del mantenimiento del mismo, pensando un aumentar la vida útil del mismo.

Si bien, la fatiga en los concretos asfálticos es un proceso repetitivo y constante, que de una forma técnica degrada la carpeta asfáltica, es importante mencionar que *“Dos son los mecanismos principales de degradación que se intentan controlar en las metodologías empíricas (y también en las mecanicistas): fatiga y exceso de deformación permanente. La fatiga ocurre en las capas ligadas, y para el caso de estructuras flexibles, se presenta cuando se generan valores altos de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica. Este tipo de deformación es asociado a la respuesta resiliente que presenta la estructura cuando se mueven las cargas vehiculares.”*³

Este documento relata las actividades ejecutadas en el marco que enfoca la rehabilitación de pavimentos en concreto asfáltico, la idea principal es demostrar los resultados obtenidos del control de fatiga sobre muestras cuadradas utilizando geo-sintéticos (Geomalla biaxial para pavimento) en las cuales serán sometidas a carga monotónica asemejando la carga vehicular y así tener un ensayo de fatiga, a la postre de esto, se comparan los resultados y serán objeto de un análisis técnico para aterrizar los resultados a un enfoque mecanístico de los diseños y rehabilitaciones de pavimentos.

Si bien, los resultados de este proyecto son explicados en detalle, es importante mencionar que el análisis de los mismos, pretenden llevar al lector de este documento a un enfoque relacionado con la gestión de pavimentos, es una necesidad del país mantener las vías en buen estado, y al tener alternativas constructivas con argumentación teórica, técnica y económica, resulta más fácil elegir políticas que enfoquen la construcción de los mismos a una proyección en el tiempo, que permita ahorrar costos de operación y mantenimiento de la malla vial en general.

El desarrollo económico de las regiones en sectores alejados del país, impera dentro de las características del terreno, por ende, el desarrollo de políticas en un enfoque de gestión de pavimentos, ayudara a construir más y mejores vías, ayudando al progreso económico de la nación.

³ RONDON QUINTANA, Hugo Alexander. Metodologías de diseño de pavimentos flexibles: tendencias, alcances y limitaciones, 2007, p. 43.

Es fundamental no perder de vista la importancia de mantener los pavimentos en buen estado, esto juega un papel importante en el estado de los vehículos, infraestructura aledaña, velocidades de recorrido, calidad de vida en general, puesto que el pavimento debe ofrecer condiciones de transitabilidad y debe ser capaz de ofrecer comodidad y seguridad a los usuarios de la vía; por ende, es fundamental diseñar estructuras de la vía de manera que su vida útil se prolongue en el tiempo garantizando estos aspectos.

Bajo esta premisa, los mantenimientos oportunos a los pavimentos hacen parte de buenas costumbres en ingeniería en pro de no invertir recursos en rehabilitaciones de pavimentos, luego, es importante identificar a tiempo las patologías de los mismos, un dato relevante en este aspecto, es que *“Se estima que una carretera degradada, reduce velocidad de los vehículos en un promedio del 8,7 km / h, y una con el recubrimiento totalmente destruida reduce 31,7 km/h. Así que una carretera en buenas condiciones puede dar lugar a hasta 5% de ahorro en el consumo de combustible, tiempos de viaje más bajos, menores costos mantenimiento e inferior CO2 por los vehículos que viajan en el mismo”* (IPEA, 2008)

El enfoque técnico del proyecto es demostrar las bondades de las geomallas biaxiales para pavimentos flexibles, en un marco de referencia de gestión de pavimentos.

Es importante enfocar el proyecto a la aplicación mecanística y técnica de la implementación de geomallas, toda vez que *“su aplicación en carreteras tiene impactos positivos en lo económico, reduciendo volúmenes de movimiento de tierras; en lo técnico, incrementando la vida útil de los pavimentos; en lo ambiental, reduciendo el impacto de la emisión de carbono en las actividades de construcción realizadas con esta tecnología”*.⁴

En la actualidad se carece de un método racional de diseño, pero existen investigaciones en curso que apuntan a definir coeficientes de rigidez del compuesto geosintético-agregado como la propiedad asociada al comportamiento benéfico de la inclusión de la geomalla de refuerzo y pretenden simplificar los ensayos necesarios para su determinación.

⁴ <http://vialidadytransporte.com/noticia/15-importancia-geomallas-construccion-carreteras>

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

Un dato a tener en cuenta a priori del análisis particular del proyecto, es que de acuerdo a datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, *“De 120 países, Colombia ocupa el puesto 97 en la relación km/Hab y la densidad de carreteras pavimentadas es de 0.013km/km², siendo una de las menores de América; en calidad de infraestructura, de 133 países, Colombia ocupa el puesto 101, siendo inferior a Chile (37), México (57), Brasil (67), Uruguay (75), Argentina (89) y Ecuador (99) y con una calificación superior a la de algunos países de la región como Bolivia (122), Venezuela (123) y Paraguay (138). (Indicadores calculados por el Foro Económico Mundial FEM)”*⁵. (García, L. 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario que el estado colombiano realice grandes inversiones en infraestructura vial, para que, de esta manera, el desarrollo comercial y económico, permitan a la nación ser competitiva con otros países de la región, los cuales tienen avances significativos en construcción de vías nuevas.

En este aspecto, la calidad de la construcción, así como las buenas costumbres de ingeniería a la hora de realizar los mantenimientos preventivos, así como una gestión de pavimentos, que permita que las vías perduren en buen estado en el tiempo, juegan un papel importante en el desarrollo del país, luego, el desarrollo de prácticas que permitan que todo esto sea una realidad, impera en el ámbito de ingeniería de pavimentos.

A continuación se muestra el estado de la red vial del país, partiendo de un análisis histórico de 2013 y comparándolo con diciembre de 2018.

⁵ Departamento administrativo nacional de estadística DANE, documento técnico, 2014, p. 4.

Tabla 1: Estado de la red vial (julio 2013)

| No. | TERRITORIAL | PAVIMENTADO (Kms) | | | | | SIN PAVIMENTAR (Kms) | | | | | RED TOTAL CALIFICADA | | | |
|----------------|-----------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------------------|--------|---------|----------|----------|----------------------|----------------|---------------|-----------|
| | | MUY BUENO | BUENO | REGULAR | MALO | MUY MALO | MUY BUENO | BUENO | REGULAR | MALO | MUY MALO | PAV. | SIN PAV. | INTERV. | Kms. |
| 1 | ANTIOQUIA | 92.16 | 156.91 | 343.06 | 288.47 | 41.64 | 0.00 | 0.00 | 1.09 | 10.92 | 0.00 | 922.23 | 12.01 | 0.00 | 934.23 |
| 2 | ATLANTICO | 33.83 | 27.42 | 26.35 | 5.00 | 0.00 | 0.00 | 10.50 | 20.40 | 29.30 | 1.00 | 92.60 | 61.20 | 0.00 | 153.80 |
| 3 | BOLIVAR | 90.16 | 87.49 | 12.63 | 6.84 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 197.11 | 0.00 | 0.00 | 197.11 |
| 4 | BOYACA | 66.05 | 208.64 | 185.03 | 130.23 | 7.66 | 0.00 | 34.54 | 75.62 | 101.39 | 15.55 | 597.61 | 227.10 | 0.00 | 824.70 |
| 5 | CALDAS | 72.59 | 71.32 | 85.32 | 20.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 249.24 | 0.00 | 23.81 | 273.05 |
| 6 | CAQUETA | 55.36 | 28.55 | 130.93 | 141.93 | 0.95 | 0.00 | 2.40 | 19.41 | 44.64 | 5.69 | 357.71 | 72.15 | 16.00 | 445.87 |
| 7 | CASANARE | 96.69 | 397.48 | 170.35 | 59.23 | 0.00 | 0.00 | 9.00 | 61.31 | 67.46 | 3.97 | 723.75 | 141.73 | 0.00 | 865.48 |
| 8 | CAUCA | 78.32 | 187.49 | 127.01 | 107.01 | 0.00 | 1.00 | 46.49 | 199.02 | 423.31 | 38.67 | 499.83 | 708.49 | 0.00 | 1,208.32 |
| 9 | CESAR | 179.16 | 92.28 | 28.94 | 20.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.10 | 17.10 | 0.00 | 320.68 | 42.20 | 0.00 | 362.88 |
| 10 | CHOCO | 3.08 | 63.58 | 49.98 | 10.19 | 0.00 | 3.40 | 15.36 | 68.72 | 38.05 | 26.45 | 126.83 | 151.99 | 0.00 | 278.82 |
| 11 | CORDOBA | 73.63 | 146.51 | 57.16 | 41.28 | 16.43 | 4.03 | 18.35 | 15.24 | 16.11 | 0.00 | 335.01 | 53.73 | 0.00 | 388.74 |
| 12 | CUNDINAMARCA | 17.01 | 58.35 | 99.96 | 78.90 | 0.08 | 0.00 | 11.10 | 9.84 | 6.55 | 2.20 | 254.31 | 29.70 | 0.00 | 284.00 |
| 13 | GUAJIRA | 3.13 | 35.39 | 63.33 | 30.63 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 3.95 | 6.45 | 132.48 | 10.70 | 0.00 | 143.17 |
| 14 | HUILA | 46.71 | 106.26 | 145.81 | 181.60 | 0.00 | 14.19 | 19.11 | 98.32 | 71.31 | 0.00 | 480.38 | 202.93 | 67.70 | 751.01 |
| 15 | MAGDALENA | 0.00 | 18.59 | 7.47 | 1.60 | 9.66 | 0.00 | 0.00 | 25.54 | 54.47 | 5.98 | 37.32 | 85.98 | 0.00 | 123.30 |
| 16 | META | 82.05 | 34.54 | 84.33 | 23.08 | 0.95 | 0.73 | 12.17 | 72.70 | 27.30 | 61.81 | 224.95 | 174.71 | 0.00 | 399.66 |
| 17 | NARIÑO | 172.61 | 212.12 | 71.01 | 148.24 | 0.00 | 0.00 | 5.65 | 1.70 | 33.87 | 8.44 | 603.97 | 49.66 | 0.00 | 653.63 |
| 18 | N. DE SANTANDER | 72.25 | 121.51 | 47.11 | 117.64 | 5.96 | 0.00 | 5.43 | 61.51 | 65.34 | 5.02 | 364.46 | 137.30 | 0.00 | 501.76 |
| 19 | PUTUMAYO | 100.22 | 62.15 | 56.47 | 10.84 | 0.00 | 0.00 | 15.84 | 56.95 | 108.05 | 0.98 | 229.68 | 181.82 | 0.00 | 411.50 |
| 20 | QUINDIO | 3.26 | 30.45 | 44.49 | 11.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 89.28 | 0.00 | 0.00 | 89.28 |
| 21 | RISARALDA | 72.33 | 55.70 | 28.49 | 15.63 | 0.00 | 2.65 | 8.87 | 31.55 | 16.97 | 0.00 | 172.14 | 60.04 | 0.00 | 232.19 |
| 22 | SANTANDER | 39.04 | 214.24 | 149.81 | 105.18 | 1.78 | 0.00 | 44.16 | 9.70 | 40.09 | 138.71 | 510.04 | 232.65 | 0.00 | 742.69 |
| 23 | SUCRE | 50.22 | 31.65 | 16.32 | 25.65 | 5.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 0.00 | 128.90 | 0.35 | 0.00 | 129.25 |
| 24 | TOLIMA | 46.91 | 124.64 | 86.03 | 41.49 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 299.07 | 0.00 | 0.00 | 299.07 |
| 25 | VALLE | 31.35 | 93.06 | 101.14 | 17.51 | 4.99 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 248.05 | 0.00 | 13.00 | 261.05 |
| 26 | OCAÑA | 0.00 | 39.11 | 30.95 | 76.39 | 1.97 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.15 | 148.42 | 7.15 | 0.00 | 155.57 |
| 27 | PLANTA CENTRAL | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL RED VIAL | | 1578,08 | 2.705,43 | 2.249,47 | 1.715,95 | 97,13 | 26,00 | 259,27 | 853,72 | 1.176,51 | 328,07 | 8.346,05 | 2.643,57 | 120,51 | 11.110,13 |
| | | Pavimentado | | | | | No Pavimentado | | | | | Total Pav. | Total sin Pav. | Total Interv. | |
| | | 18,91% | 32,42% | 26,95% | 20,56% | 1,16% | 0,98% | 9,81% | 32,29% | 44,50% | 12,41% | 75,12% | 23,79% | 1,08% | |

Fuente: Documento Criterio Técnico Instituto nacional de Vías (INVIAS)

Tabla 2: Estado de la red vial (diciembre 2018)

| INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN dic-18 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------------------|--------|---------|--------|----------|----------------------|----------|---------|----------|
| No. | TERRITORIAL | PAVIMENTADO (Kms) | | | | | SIN PAVIMENTAR (Kms) | | | | | RED TOTAL CALIFICADA | | | |
| | | MUY BUENO | BUENO | REGULAR | MALO | MUY MALO | MUY BUENO | BUENO | REGULAR | MALO | MUY MALO | PAV. | SIN PAV. | INTERV. | TOTAL |
| 1 | ANTIOQUIA | 9.28 | 85.59 | 148.11 | 52.61 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.69 | 1.80 | 0.00 | 295.59 | 2.49 | 0.00 | 298.08 |
| 2 | ATLANTICO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | BOLIVAR | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | BOYACA | 54.37 | 165.79 | 250.27 | 120.41 | 0.00 | 0.00 | 4.99 | 11.53 | 83.12 | 22.45 | 590.83 | 122.07 | 0.00 | 712.91 |
| 5 | CALDAS | 59.37 | 79.32 | 39.74 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 178.43 | 0.00 | 0.00 | 178.43 |
| 6 | CAQUETA | 141.97 | 51.05 | 14.22 | 20.01 | 0.00 | 0.00 | 1.61 | 21.21 | 28.73 | 1.04 | 227.25 | 52.60 | 9.45 | 289.29 |
| 7 | CASANARE | 0.00 | 17.22 | 186.53 | 39.85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.95 | 13.50 | 0.00 | 243.60 | 25.45 | 0.00 | 269.05 |
| 8 | CAUCA | 43.87 | 66.65 | 109.47 | 91.26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 75.83 | 117.63 | 0.95 | 311.25 | 194.41 | 0.00 | 505.66 |
| 9 | CESAR | 19.77 | 108.56 | 82.01 | 93.56 | 0.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 304.89 | 0.00 | 0.00 | 304.89 |
| 10 | CHOCO | 4.02 | 45.72 | 48.58 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.27 | 46.06 | 0.00 | 98.32 | 52.32 | 0.00 | 150.65 |
| 11 | CORDOBA | 0.00 | 15.92 | 14.98 | 53.10 | 35.98 | 0.00 | 0.98 | 7.94 | 29.68 | 13.98 | 119.98 | 52.58 | 0.00 | 172.56 |
| 12 | CUNDINAMARCA | 0.00 | 73.10 | 91.22 | 30.99 | 0.00 | 0.00 | 2.58 | 6.30 | 19.03 | 0.00 | 195.31 | 27.91 | 0.00 | 223.22 |
| 13 | GUAJIRA | 20.31 | 34.40 | 71.69 | 25.61 | 0.00 | 0.00 | 3.10 | 2.95 | 4.65 | 0.32 | 152.01 | 11.01 | 0.00 | 163.02 |
| 14 | HUILA | 29.54 | 22.01 | 26.21 | 59.05 | 1.03 | 0.00 | 47.00 | 0.94 | 89.03 | 10.93 | 137.83 | 147.89 | 0.00 | 285.72 |
| 15 | MAGDALENA | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 16 | META | 0.20 | 0.74 | 11.71 | 7.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.69 | 36.83 | 0.00 | 19.65 | 48.52 | 0.00 | 68.17 |
| 17 | NARIÑO | 252.60 | 272.23 | 100.19 | 72.74 | 0.62 | 0.00 | 5.81 | 1.00 | 4.88 | 9.58 | 698.38 | 21.26 | 0.00 | 719.64 |
| 18 | N. DE SANTANDER | 19.81 | 46.84 | 83.01 | 77.23 | 0.97 | 0.00 | 3.11 | 75.43 | 27.94 | 0.66 | 227.85 | 107.14 | 0.00 | 334.99 |
| 19 | PUTUMAYO | 0.00 | 31.55 | 6.11 | 3.55 | 0.00 | 0.00 | 20.99 | 18.01 | 25.11 | 0.00 | 41.21 | 64.11 | 0.00 | 105.32 |
| 20 | QUINDIO | 0.00 | 33.02 | 41.27 | 7.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 81.39 | 0.00 | 8.52 | 89.91 |
| 21 | RISARALDA | 34.99 | 96.31 | 38.53 | 4.84 | 0.00 | 0.00 | 10.80 | 30.06 | 3.31 | 0.00 | 174.67 | 44.16 | 0.00 | 218.84 |
| 22 | SANTANDER | 1.00 | 199.23 | 368.70 | 116.17 | 0.00 | 0.00 | 19.47 | 39.29 | 6.76 | 0.00 | 685.10 | 65.51 | 0.00 | 750.61 |
| 23 | SUCRE | 6.66 | 73.49 | 40.10 | 20.37 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 140.62 | 0.00 | 0.00 | 140.62 |
| 24 | TOLIMA | 48.68 | 169.69 | 64.10 | 29.54 | 1.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 313.30 | 0.00 | 0.00 | 313.30 |
| 25 | VALLE | 31.06 | 98.72 | 97.02 | 71.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 298.51 | 0.00 | 0.00 | 298.51 |
| 26 | OCAÑA | 16.99 | 188.90 | 103.30 | 56.60 | 10.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.43 | 0.00 | 376.02 | 4.43 | 0.00 | 380.45 |
| 27 | S. ANDRÉS y PROV. | 16.14 | 24.60 | 5.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.75 | 0.00 | 0.00 | 45.75 |
| TOTAL RED VIAL | | 810.63 | 2.000.64 | 2.042.08 | 1.053.29 | 51.10 | 0.00 | 120.42 | 321.08 | 542.46 | 59.90 | 5.957.74 | 1.043.86 | 17.97 | 7.019.56 |
| | | 13,61% | 33,58% | 34,28% | 17,68% | 0,86% | 0,00% | 11,54% | 30,76% | 51,97% | 5,74% | 84,87% | 14,87% | 0,26% | |

Fuente: Documento Criterio Técnico Instituto nacional de Vías (INVIAS)

Tabla 2: Estado de la red vial (diciembre 2018), como antecedente principal a este proyecto, es que es evidente el deterioro que ha tenido a lo largo del tiempo las carreteras pavimentadas del país, pasando de un 18% en 2013 a un 13% en 2018.

De esta premisa surge la idea fundamental de este proyecto de grado, el cual pretende enfatizar el uso de las geomallas como medida que ayude a prolongar la vida útil de los pavimentos, teniendo en cuenta las políticas actuales de la nación, las cuales trabajan de forma reactiva teniendo en cuenta el estado de la malla vial del país.

Si bien, las políticas preventivas enfocan los recursos del estado en más kilómetros de vías nuevas, la realidad del país no es así, puesto que el deterioro del pavimento en las carreteras de la nación ocasiona en el mediano plazo una mayor inversión de recursos.

Por ende, entre los principales antecedentes a tener en cuenta en el desarrollo de la ingeniería de pavimentos, se proponen alternativas que busquen que aspectos fundamentales de calidad en las carpetas asfálticas, como IRI, control de ahuellamiento y, sobre todo, el control de fatiga, sean indicadores que ayuden a que la vida útil del pavimento sea extendida.

Un antecedente clave en el desarrollo de los geosintéticos, es por ejemplo, que a partir de la segunda guerra mundial, estos surgieron como una alternativa de intervención en pavimentos, específicamente las geomallas jugaron un papel importante a favor de la ingeniería en la rehabilitación de carreteras, sin embargo, las aplicaciones en los pavimentos asfálticos como fórmula mágica para evitar el reflejo de fisuras a causa de la fatiga, se llevó a cabo hacia la década de los años ochenta en los Estados Unidos.

Este no es un dato menor, si se tiene en cuenta que en la actualidad se cuenta con numerosos estudios en relación a la eficacia que ofrecen las geomallas como complemento perfecto en los concretos asfálticos, es importante tener en cuenta todos estos casos de estudio, toda vez que ofrecen una gama de muchas posibilidades y brinda casos de éxito los cuales se pueden apreciar de una forma cualitativa si se tiene en cuenta los beneficios que ofrecen los geosintéticos en general; pero también se pueden mirar desde el punto de vista cuantitativo si se miran por el factor económico en cuanto a minimizar tiempos de ejecución de labores y aportes a la vida útil y al mantenimiento periódico de las carreteras.

El refuerzo en las capas asfálticas de los pavimentos con geomallas de poliéster es una solución que se viene implementando en la construcción de vías o el mantenimiento de las mismas en diversos países. Entre ellos, se pueden destacar Colombia y Ecuador, que le han apostado a este tipo de tecnologías

para tener vías con mayor vida útil y menores tiempos y costos de mantenimiento.⁶

Otro de los antecedentes importantes de aplicación, base para este proyecto, se enfoca en el ensayo realizado a muestras de concreto asfáltico reforzadas con geomallas y se compararon con especímenes sin refuerzo alguno.

El objetivo primario de ese ensayo, fue el de evaluar el desempeño obtenido de un refuerzo intercapas de la geomalla, con base en este antecedente el objetivo principal fue evaluar el desempeño del mejoramiento de grietas utilizando refuerzo con geomallas, esto, sobre mezcla asfáltica en caliente, todo lo anterior teniendo en cuenta la ASTM 331; se compara el desempeño de las muestras de viga con refuerzo versus otras vigas sin refuerzo y se evaluaron el desempeño. Se determinó el beneficio al utilizar la geomalla asfáltica como retardante de las grietas, un factor de eficiencia.

A continuación, se ilustran los datos relevantes del ensayo realizado en el año 2017 por Texas Transportation Institute, donde los resultados obtenidos serán objeto de estudio por parte de este proyecto de grado, donde se asimilarán condiciones reales en campo para evaluar y comparar los resultados obtenidos en campo.

Tabla 3. Ensayo realizado en el año 2017 por Texas Transportation Institute

⁶<http://blog.geomatrix.co/tres-ventajas-del-uso-de-las-geomallas-de-poli%C3%A9ster-en-el-refuerzo-de-capas-asf%C3%A1lticas>

| Item | Description | Comment |
|--------------------------|----------------------------|---|
| Asphalt-binder (bitumen) | Pen 60/70 equivalent | PG 64-22 (effective content \equiv 4.5%) |
| Aggregates | Limestone/dolomite/granite | |
| Gradation | MDC-19 | Equivalent |
| Mix G_{mm} | 2.436 | |
| Tack coat | Emulsified asphalt | Application rate = 0.45 liters/m ² weight equivalent |
| HMA target density | 93±1% | |
| HMA compaction temp | 127 °C | Mixing temp = 144 °C |
| HMA slab dimensions | 500 mm × 450 mm × 50 mm | 50 = 25 _{Bottom} + Tack + Grid + 25 _{Top} |
| HMA beam dimensions | 380 mm × 62.5 mm × 50 mm | AASHTO T 321 AASHTO TP8-94 |

| Aggregate Gradation | Sieve (mm/U.S Standard) | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|----|------|------|------|------|--------|-------|-------|--------|
| | 37.5 | 25 | 19 | 12.5 | 9.5 | 4.75 | 2 | 0.425 | 0.18 | 0.075 |
| | 1 1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | No.4 | No. 10 | No.40 | No.80 | No.200 |
| | % PASA | | | | | | | | | |

Fuente. Conferencia Geomatrix

como aporte o antecedentes principales para este proyecto, es importante mencionar que a lo largo de la historia de la ingeniería de pavimentos, varios estudios efectuados en países sudamericanos como por ejemplo Brasil (Montestruque 2002; Pereira 2002; 2003; wickert FRITZEN 2005; Bulher 2007; Bastos 2010; Obando 2012; Guimaraes 2013; Fonseca, 2015; Cinturón de 2014; Correia y Zornberg, 2016) y el mundo (Prieto et al. 2007; Doh et al. 2009; Ferrotti et al. 4 2011 Ferrotti et al. 2012; Zamora-Barraza et al. 2011; Al-Qadi et al. 2012; Norambuena- Contreras-González & Tower, 2015) reportaron la eficiencia de los geosintéticos como capas la inhibición de la propagación de grietas y su contribución a la reducción de fisuras reflejada por la fatiga.

Como parte de las soluciones para el mantenimiento de carreteras, que se presenta en este Buscar una propuesta para el refuerzo de pavimentos flexibles en capas de asfalto mediante el uso de geosintéticos, el cambio de diferentes características de refuerzo tales como tipo de material, la rigidez a la tracción, geomallas y peso abierto. Las características que han de evaluarse en de diseño son: la degradación térmica, efecto de la velocidad de deformación en las propiedades mecánica, la adhesión entre el refuerzo y la mezcla de asfalto, la evaluación de las grietas y la reflexión resistencia a la tracción de la mezcla de asfalto reforzada.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente documento, plantea una solución viable y económica para alargar la vida útil de los pavimentos que están expuestos a un tránsito constante, causando así un deterioro estructural en los mismos. En la mayoría de las ciudades del país, es constante la presencia de agrietamientos en nuestras vías causando así bastantes problemas de tráfico debido a la reducción de la velocidad en los vehículos por este mismo inconveniente.

En el caso de Bogotá, la unidad de mantenimiento vial reporta que para el año 2018 en solo la localidad de suba tienen priorizadas más de 300 calles para intervención vial, Los trabajos de la UMV en esta localidad consisten en varias rehabilitaciones y mantenimientos viales en los que se destacan 179 acciones de parcheo, 57 cambios de carpeta asfáltica, 52 rehabilitaciones y 14 sellos de fisuras.⁷

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la utilización de geosintéticos como parte de solución.

La hipótesis que apoya esta investigación se fundamenta en la afirmación que la implementación o presencia de geosintéticos como la geomalla en capas asfalto, reducen drásticamente las posibilidades de calcar fisuras producto de la fatiga del concreto asfáltico.

En otras palabras, un pavimento flexible que en su estructura se contempla el uso de geomallas, y estos son sometidos a cargas cíclicas, la geomalla reduce la propagación y reduce el reflejo de grietas, aumenta la capacidad estructural y aumenta la resistencia a la fatiga en comparación con mezclas sin refuerzo.

Como resultado de esta hipótesis, al implementar el uso de geomallas en carpetas asfálticas, se esperan obtener resultados favorables, sin embargo, como metodología mecanística, se espera obtener un dato real, un porcentaje de favorabilidad aterrizado para así tenerlo en cuenta a la hora de diseñar estructuras, implementar las geomallas en los diseños en general, para ayudar a aumentar la vida útil de los pavimentos.

La afirmación de aumentar la vida útil de los pavimentos es efímera, si se tiene en cuenta los precios en el mercado de la geomalla de repavimentación, sin embargo, la tendencia del uso e implementación de este geosintético, por temas de oferta y demanda se espera que ayude a bajar precios, lo cual favorecerá la hipótesis anteriormente planteada, sobre todo si se tiene como punto de partida las buenas prácticas en las metodologías de diseño.

⁷ www.bogota.gov.co/temas-de-ciudad/movilidad/calles-de-suba-seran-arregladas-en-bogota

De igual forma, viendo este planteamiento del problema desde varias aristas, también se puede afirmar que partiendo de políticas enfocadas a una gestión de pavimentos real, en el largo plazo, el precio del mercado de la geomalla, así como su implementación en las obras, sería mucho más económico que ejecutar una serie de intervenciones como tales como bacheos o reciclados, los cuales ocasionan mayor impacto y son intervenciones con una inversión superior en relación al planteamiento inicial.

3. OBJETIVOS

3.1.OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica con la incorporación de un geosintéticos tipo Fortgrid Asphalt 700, por medio de la acción de una carga monotónica en un modelo físico de laboratorio.

3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el desempeño de un geosintetico tipo Fortgrid Asphalt 70, utilizado en el refuerzo de una estructura de pavimento flexible.
- Ejecutar un estudio académico y técnico juicioso teniendo como base normativas y reglas para la estandarización del ensayo a realizar.
- Evaluar la influencia de la base granular ante la respuesta de una carga monotónica aplicada sobre la capa de rodadura tipo MDC12 y con adición de una geosintéticos.
- Proponer recomendaciones como base experimental para procesos constructivos en las vías y carreteras del país, sustento técnico y académico valioso de aporte a la ingeniería del país.

El alcance identificado para la investigación propuesta, plantea la publicación de resultados de la evaluación final surgirán recomendaciones valiosas para las obras civiles de ejecución y constricción de carreteras en el país, priorizara o rechazara el uso de geomallas en las capas de asfalto, lo cual se plantea un marco mecanistico y propositivo para futuros ensayos a nivel local.

4. JUSTIFICACION

La investigación propuesta, plantea la publicación de resultados efectuados basados en el control de fatiga en carpetas asfálticas utilizando geosintéticos, alternativa base para argumentar que, las geomallas, en particular, son una alternativa real que podría ayudar a que los pavimentos en el país, tengan una mayor vida útil, partiendo del principio de gestión de pavimentos.

El control de la fatiga en los pavimentos es necesario para predecir comportamientos de deterioro de las carpetas asfálticas y así, poder ejecutar planes de mantenimiento que ayuden a invertir mejor los recursos de las arcas públicas.

En la actualidad, se cuenta con amplios estudios realizados en el país que reafirman las hipótesis de este proyecto, las cuales argumentan el hecho que las geomallas son funcionales y propicias para ayudar a la carpeta asfáltica a una mejora en la prolongación de la vida útil de la misma, por ende la justificación de este proyecto, se encamina a llevar a cabo un control de la fatiga en condiciones reales, con una estructura de pavimento que tenga las condiciones encontradas en obra, para obtener los resultados y cotejarlos con respecto a dichas hipótesis.

Partiendo de la premisa de las normas y especificaciones vigentes en el país, se tiene como marco de referencia, la especificación técnica de geomallas en capas asfálticas del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, que se fundamenta en el hecho que *“La Geomalla se utiliza para retardar la propagación de fisuras, prolongando de esta manera la vida útil del pavimento”*.⁸

Si bien, la especificación del IDU, brinda los pilares necesarios para el alcance de la instalación de las geomallas en las carpetas asfálticas, esta, deja abierta el uso de la misma en los planos del proyecto o por indicaciones directas del interventor; lo cual no es malo, sin embargo, la implementación de políticas que obliguen al constructor a la instalación de la geomalla al rehabilitar una carpeta asfáltica, ayudaría a que la vida útil de los pavimentos durara mucho mas

⁸ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU, Geomallas en capas asfálticas, Especificación técnica IDU Sección 342-11, página 1, 2011

5. DELIMITACIÓN

5.1. ESPACIO

La investigación base de este documento, se realizó en la ciudad de Bogotá, con asfaltos provenientes de la planta de asfalto Doble AA.

5.2. TIEMPO

Las actividades se desarrollan dentro del marco de la propuesta técnica título de este proyecto, las actividades desarrolladas se ilustran en el cronograma de actividades definitivo, citado en numerales posteriores dentro de los resultados de este documento.

5.3. CONTENIDO

El contenido de este documento ilustra las actividades citadas anteriormente, como base para la futura implementación de geosintéticos como políticas de gestión de pavimentos, es una solución técnica, económica y útil a la alargar la vida útil de los pavimentos de concreto asfáltico.

5.4. ALCANCE

El alcance primario de este proyecto, formula las actividades y parte de una problemática enfocada al control de la fatiga en los pavimentos de concreto asfáltico, utilizando geomallas, para que esto permita un control real teniendo en cuenta las políticas actuales del país de mantenimiento de los pavimentos, alargando la vida útil de los mismos.

6. ESTADO DEL ARTE

La investigación propuesta, plantea la publicación de resultados de un ensayo de fatiga a una capa de rodadura en un diseño convencional vs el uso de geosintéticos.

En la actualidad, se cuenta con una gran variedad estudios realizados del uso de estos materiales para las capas de bases y sub-bases y así poder reducir el espesor del mismo, contando con un gran beneficio económico para las obras a realizar, en cuanto al uso de los geosintéticos para el uso en pavimentos existe un gran número de artículos que fundamentan teóricamente que las geomallas permiten que los esfuerzos emitidos por las cargas vehiculares sean repartidos y esto tenga un efecto mecánico causando una mayor durabilidad a la capa de rodadura.

En este trabajo se pretende demostrar que el uso de geosintéticos tiene bastante influencia en la resistencia a las cargas cíclicas, por ende, se realizó la simulación de una estructura completa desde la sub-rasante hasta la capa de rodadura, la cual será sometida a cargas las cuales se evaluaron y analizaron las diferencias encontradas para un análisis desde el punto de vista de una gestión de pavimentos.

La utilización de geomallas de poliéster, en el reforzamiento de capas asfálticas, resulta una solución innovadora que ofrece múltiples ventajas en el desempeño de las estructuras de pavimento. Estas controlan el reflejo de agrietamientos, generan un aumento de la vida de fatiga de las capas asfálticas y reducen el costo de mantenimiento de los pavimentos, entre otros beneficios.

A pesar de las ventajas que las geomallas ofrecen en el refuerzo de capas asfálticas, son una solución poco conocida entre el sector. Pensando en este motivo, el profesor PHD. Lubinda Walubita, investigador de la Universidad de Texas A&M-TTI (Texas Transportation Institute), desarrolló un trabajo de investigación para Geomatrix con el que pretendió determinar la capacidad de las geomallas Fortgrid Asphalt, en pruebas de carga dinámica y, así, cuantificar su aporte en el pavimento.

La problemática de los pavimentos en el refuerzo de capas asfálticas, el aporte de las geomallas de poliéster en el pavimento y la manera de cuantificar el aporte de la geomalla en el pavimento.

En 2016, geomatrix realizó una conferencia basada en el trabajo de investigación del Ing PHD. Lubinda Walubita: "Use of Fortgrid Asphalt Geogrids for the Improvement of Laboratory Cracking Performance of HMA Beam Samples". Proyectos emblemáticos en donde se ha instalado la geomalla de poliéster Fortgrid Asphalt.

Básicamente el profesor PHD. Lubinda Walubita, compartió los antecedentes, hallazgos, resultados y beneficios de las geomallas de poliéster Fortgrid Asphalt. Evaluar cuál es el mejoramiento que va a lograr la geomalla de poliéster al momento de incorporarla a un proyecto y los beneficios en términos estructurales (Desempeño y vida útil, optimización de materiales y reducción en los costos), dejan en evidencia su superioridad.⁹

A continuación, se ilustran apartes del documento publicado¹⁰ por Geomatrix en el cual se observan los detalles técnicos de las evaluaciones del comportamiento de la geomalla en los pavimentos asfálticos, es importante mencionar que este trabajo es parte fundamental en el estado de arte de este documento ya que brinda las herramientas de referencia para asumir una postura crítica frente a demás estudios realizados y direcciona el proyecto hacia lo que falta por investigar en torno a una temática o problemática concreta, para evitar duplicar esfuerzos o quizás repetir lo que ya se ha investigado.

Por ende, esta investigación realizada por la compañía Geomatrix es muy importante y a este proyecto brindara una contribución técnica desde el punto de vista de ingeniería de pavimentos como un insumo mas para dar comienzo a cualquier otra investigación que se realice.

Figura 1. Falla de vigas, estudio Lubinda F. Walubita



Fuente: Geomatrix

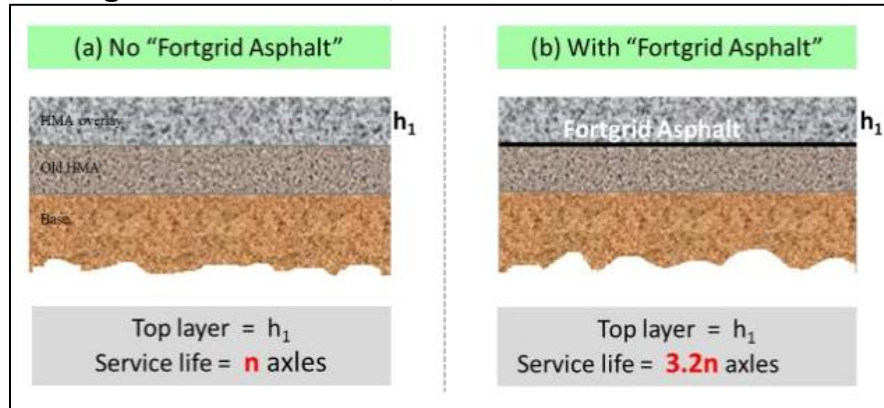
En la imagen *Figura 3. Resumen de Resultados, estudio Lubinda F. Walubita*, se puede observar la comparación grafica de las repeticiones efectuadas para fallar una viga de concreto asfáltico sin refuerzo con geomalla y otra utilizando este

⁹ Geomatrix, blog.geomatrix.co/eficiencia-de-las-geomallas-de-poli%C3%A9ster-para-reforzar-asf%C3%A1ltos.

¹⁰ Lubinda F. Walubita, Use of Fortgrid Asphalt Geogrids to Improve the Cracking Performance of HMA Octubre de 2016

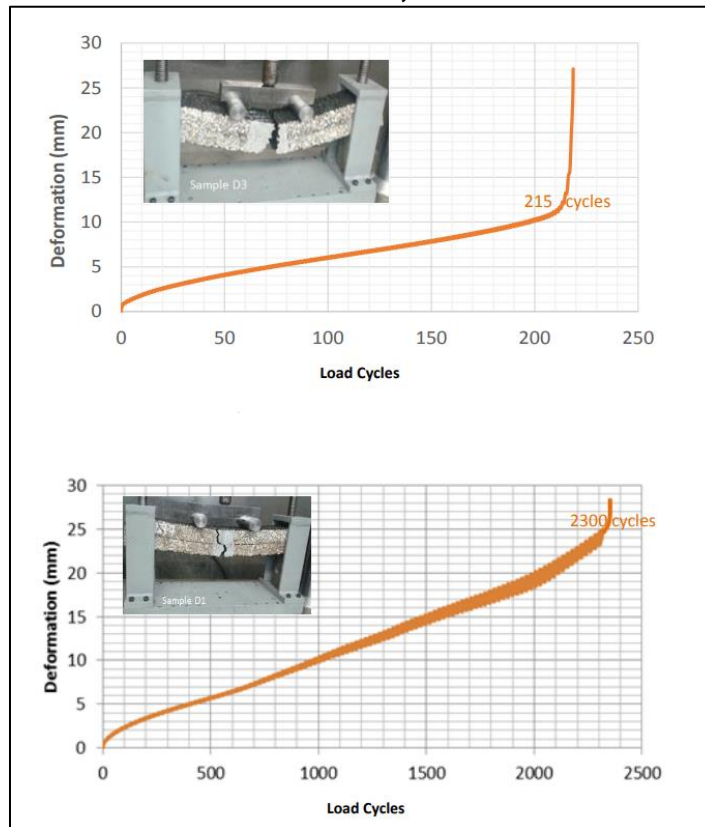
geosintéticos, las diferencias son grandes teniendo en cuenta que la primera soporto 215 ciclos y la segunda 2300.

Figura 2. Resultados, estudio Lubinda F. Walubita



Fuente: Geomatrix

Figura 3. Resumen de Resultados, estudio Lubinda F. Walubita



Fuente: Geomatrix

7. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

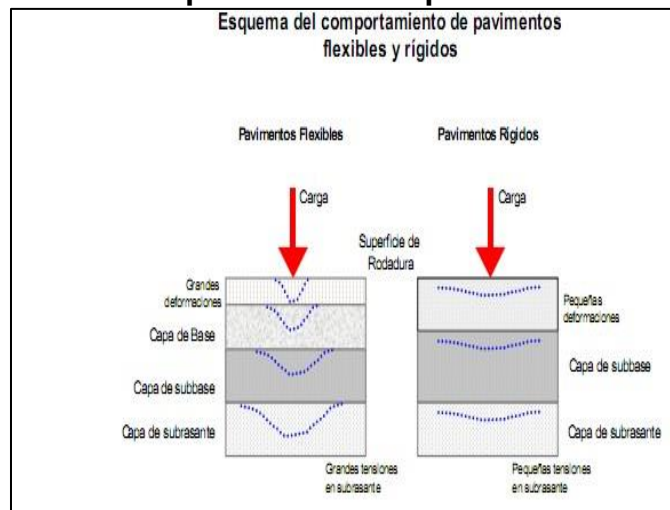
En los Estados Unidos, desde los años 70 se han desarrollado proyectos de investigación pertinentes y la construcción de estructuras de pavimento reforzadas con materiales poliméricos. Cada año, instaladas alrededor de 100 millones de metros cuadrados de geosintéticos en capas de asfalto. La instalación de los materiales poliméricos en capas de betún

Su objetivo es reducir: grietas reflejada, la infiltración de agua, agrietamiento por fatiga y la reducción de deformación permanente debido a las altas temperaturas. Después de la separación de las aplicaciones y la estabilización de las capas, el uso de geosintéticos en concretos asfálticos es el segundo de mayor implementación en los Estados Unidos (Cuelho et al. 2005).

7.1. Tipos De Pavimento

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de estos, al aplicarles cargas, es muy diferente, tal como puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 4. Esquema de comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos



Fuente: elementos de la estructura de pavimento. Recuperado de <http://libro-pavimentos.blogspot.com/2013/02/elementos-de-la-estructura-de-pavimento.html>.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura, al tener menor rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

7.2. Elementos Del Pavimento Flexible

Los pavimentos flexibles poseen diferentes elementos que los componen. Debido a esto, se pueden encontrar diferentes definiciones, sin embargo, para efectos de esta investigación se hará uso de las definiciones del Manual centroamericano para el diseño de pavimentos (MCDP), edición 2002.

Según el MCDP, 2002, estos elementos son:

7.2.1. Subrasante

Esta es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

Es así como el espesor de pavimento dependerá, en gran parte, de la calidad de la subrasante, por lo que esta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad. Por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

7.2.2. Subbase

Esta es la capa de la estructura de pavimento destinada, fundamentalmente, a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar, absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento (Capítulo V, pág. 2)

Se utiliza, además, como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que, generalmente, se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento si este no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición en los pavimentos flexibles.

7.2.3. Base

Esta es la capa de pavimento que tiene como función primordial distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito a la subbase y a través de esta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. (Capítulo V, pág. 2).

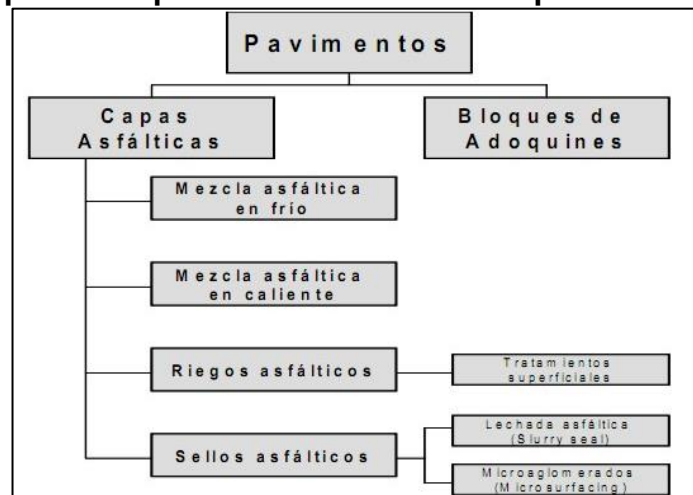
7.2.4. Superficie De Rodadura

Esta es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. (Capítulo V, pág. 2).

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***

Figura 5. Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles



Fuente: condiciones actuales de los pavimentos en Centroamérica. Recuperado de <http://libro-pavimentos.blogspot.com/2013/02/superficie-de-rodadura.html>.

7.3. Capas Asfálticas

Existen diferentes tipos de capas asfálticas, entre ellas se enumeran las siguientes:

7.3.1. Mezcla Asfáltica En Frío

Esta es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos emulsificados o asfaltos rebajados, materiales que deben cumplir con ciertos requisitos según especificaciones, los cuales son mezclados mediante procedimientos controlados y darán como resultado un material con propiedades y características definidas

7.3.2. Mezcla asfáltica en Caliente

Esta es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con ciertos requisitos según especificaciones, los cuales, mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

7.3.3. Riesgos asfálticos

Estos son riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados, que son compactados para lograr una acomodación más densa.

Brindan a la superficie las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje. Se pueden mencionar diferentes tratamientos superficiales: simples, dobles y triples.

7.3.4. Sello asfáltico

Este es el revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, destinado principalmente a impermeabilizar una superficie asfáltica existente, por medio del llenado de los vacíos y grietas y/o evitar la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorar su resistencia contra el deslizamiento aumentando la durabilidad del pavimento.

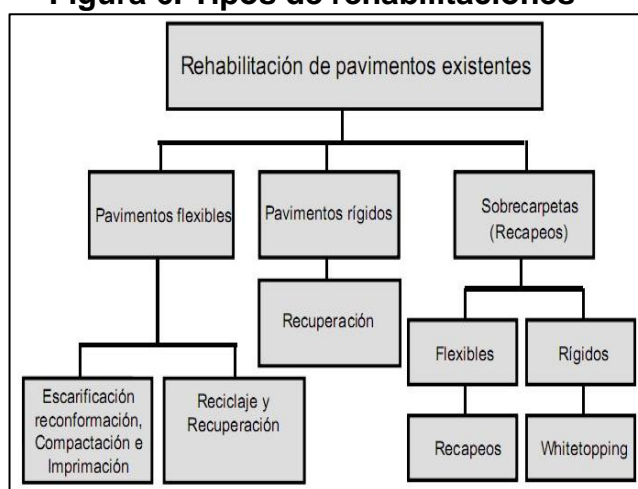
Se pueden mencionar dos tipos de sellos asfálticos: la lechada asfáltica (slurry seal) y los microaglomerados (microsurfacing).

7.4. Rehabilitación de pavimentos existentes

Este es el proceso por medio del cual la estructura de pavimento es restaurada a su condición original de soporte. Se obtiene de la recuperación con o sin estabilización del pavimento existente en combinación con material de aporte, si es necesario.

En este proceso los materiales provenientes de los pavimentos existentes formarán parte de la nueva estructura. Lo anterior se ejemplifica en la *Figura 6*.

Figura 6. Tipos de rehabilitaciones



Fuente: Alvarado Sánchez 2012. Análisis técnico sobre el uso de Geomallas de refuerzo para la Pavimentación y Repavimentación de carreteras

7.4.1. Pavimentos Flexibles

La rehabilitación de pavimentos flexibles se efectúa por medio de los siguientes procedimientos:

- Escarificación
- Re conformación
- Compactación
- Imprimación

7.4.2. Pavimentos rígidos

La rehabilitación de pavimentos rígidos se efectúa por medio del siguiente procedimiento:

- Recuperación.

7.4.3. Sobrecarpetas (recapeos)

Estas consisten en la colocación de una sobrecarpeta de mezcla asfáltica en frío, concreto asfáltico en caliente o concreto hidráulico, sobre una capa bituminosa de rodadura existente, la cual tiene un alto grado de deterioro que impide realizar sobre la misma, labores de mantenimiento rutinario.

Este tipo de trabajo es conveniente cuando las condiciones de la carretera no han llegado a los límites permisibles de deterioro y además se hace necesario incrementar la estructura por efecto del aumento del tránsito.

Se debe considerar la realización de algunos trabajos preliminares antes de la colocación de la sobrecarpeta, tales como:

- **Bacheo** en los sitios donde se considere apropiado restablecer las características de soporte de los pavimentos.
- **Capa de nivelación superficial** para mantener los espesores de la misma capa de rodadura constante.
- **Fresado de la carpeta de rodadura** cuando se considere necesario por las altas irregularidades de la superficie, que no puedan ser corregidas con la capa de nivelación.

Los recapeos se pueden dividir en dos tipos:

Recapeo en pavimentos flexibles: las sobrecarpetas o recapeos consisten en la colocación de mezcla asfáltica en frío o concreto asfáltico en caliente, en espesor no menos de 5 centímetros, sobre la capa de rodadura existente (exceptuando en adoquines), a fin de rehabilitar zonas con problemas de muchos baches o con superficies con daños severos. Este espesor corresponde a la mezcla debidamente compactada.

Esta actividad estará en función de los resultados de deflexiones en los pavimentos existentes.

Como condición indispensable para la ejecución de esta actividad, se requiere que en el tramo donde se colocará el concreto asfáltico en caliente, haya deflexiones mayores a las permisibles en el pavimento, debiendo realizar este control por medio de la Vigan Benkelman método AASHTO T-256, o por la aplicación de otro método técnico, reconocido y aceptado profesionalmente. El

valor máximo de dicha deflexión respecto a un punto dado, a una distancia no mayor de 3.68 metros en cualquier dirección, para la capa de superficie de concreto asfáltico, será el especificado en la Figura (Véase Figura 4).

Previo a su ejecución, se debe efectuar una prueba de campo para determinar la deflexión por cada 400 metros cuadrados, en la superficie de la capa de concreto asfáltico compactada, previamente a su ejecución.

Figura 7. Deflexiones máximas permisibles.

| Ejes equivalentes en el carril de diseño ESAL 's | Deflexión Permisible |
|---|-------------------------|
| < 5.0 x 10 ⁵ | 0.60 mm (0.024 pulgada) |
| < 10.0 x 10 ⁵ | 0.50 mm (0.020 pulgada) |
| < 30.0 x 10 ⁵ | 0.40 mm (0.015 pulgada) |
| < 50.0 x 10 ⁵ | 0.35 mm (0.014 pulgada) |

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.

Otros defectos deben ser corregidos, siempre y cuando sobrepasen los límites indicados en la siguiente figura (Véase Figura 5):

Figura 8. Fallas y reparación propuesta.

| Tipo de falla | Reparación requerida |
|-------------------------------------|----------------------|
| Ahuellamiento menor a 5 centímetros | Ninguna |
| Ahuellamiento mayor a 5 centímetros | Fresado o nivelación |
| Desplazamiento | Fresado |
| Baches | Rellenar |
| Falla de subrasante | Retirar y reemplazar |
| Piel de cocodrilo | Ninguna |
| Falla de bloque | Ninguna |
| Grietas transversales | Ninguna |
| Grietas longitudinales | Ninguna |
| Exudación | Ninguna |
| Degradación superficial | Ninguna |

Fuente: Manual centro americano para la construcción de carreteras y puentes regionales.

Whitetopping: Son losas de concreto hidráulico colocadas sobre pavimentos asfálticos existentes.

El fin primordial es la rehabilitación de los pavimentos asfálticos deteriorados, incorporándoles como superficie de rodadura una sobrecarpeta de concreto hidráulico y tomando como estructura de soporte el pavimento asfáltico existente en el lugar.

Esta sobrecarpeta ofrece una superficie más sólida y mejora las características de drenaje al eliminar defectos del pavimento asfáltico tales como ahuellamientos y desplazamientos, Produciendo una superficie segura y durable.

Para efectos de la presente investigación, el recapeo que interesó desarrollar fue el sistema de recapeo de pavimento flexible.

7.4.4. Diseño de recapeos por el método de AASHTO

Los métodos de rehabilitación de pavimentos por colocación de una sobrecapa o recapeo sobre la estructura existente son muy variados, en función del tipo de deterioro de la estructura y de la superficie existente. Se tienen los siguientes casos:

- AC sobre pavimento de AC
- AC sobre pavimento fracturado de PCC
- AC sobre JPCP, JRCP o CRCP
- AC sobre AC/JPCP, AC/JRCP y AC/CRCP
- PCC con pasadores sobre pavimento PCC
- PCC sin pasadores sobre pavimento PCC
- PCC sobre pavimento AC

En donde:

- AC: concreto asfáltico.
- PCC: concreto de cemento Portland.
- JPCP: pavimento de concreto con juntas sin refuerzo
- JRCP: pavimento de concreto con juntas con refuerzo.
- CRCP: pavimento de concreto con refuerzo continuo.

El objeto de estos recapeos tiene dos funciones, dependiendo de cuál de las dos condiciones es la que se quiere recuperar o si es combinado, ya que una de las funciones es la capacidad estructural y la otra es la serviciabilidad.

La primera aplica cuando las condiciones de la estructura de pavimento están llegando a su periodo de diseño y es necesario el refuerzo de la estructura para soportar el crecimiento del tránsito y, por ende, de las cargas; la segunda aplica cuando las condiciones de la superficie del pavimento han llegado a su vida útil y ha sufrido tal deterioro que no permita el desplazamiento normal de los vehículos.

7.5. Geosintéticos

Los métodos de rehabilitación de pavimentos por colocación de una sobrecapa o recapeo sobre la estructura existente son muy variados, en función del tipo de deterioro de la estructura y de la superficie existente. Se tienen los siguientes casos:

Según Alvarado (2012), son materiales geosintéticos aquellos materiales sintéticos cuyo principal beneficio es que aportan las propiedades y funciones que no poseen los materiales naturales, para el diseño y la construcción de todo tipo de obras.

También se pueden definir como productos hechos por el hombre, para su aplicación en proyectos relacionados con la Ingeniería Geotécnica, Civil y Ambiental.

Los geosintéticos pueden ser agrupados de la siguiente forma:

- Geotextiles
- Geomembranas
- Geomallas o geogrillas
- Georedes
- Geocompuestos
- U otros geo-productos.

7.5.1. Geomallas o Geogrillas

La geomalla es una estructura plana a base de polímero. Está constituida por una malla abierta y regular de elementos resistentes a la tracción, pudiendo estar fabricados por láminas perforadas o tejidos ligados por procesos térmicos o de encolado, en la cual las aberturas tienen dimensiones superiores a las de los constituyentes, es usado en contacto con el suelo o con otros materiales.

En lugar de ser tejidos de mallas apretadas, no tejidos o tejidos de punto; las geogrillas son plásticos con una configuración de mallas abiertas, es decir, que

tienen aberturas grandes. Además pueden ser estiradas para mejorar sus características mecánicas (láminas perforadas) o directamente fabricadas por los métodos textiles tradicionales (tejidos).

Figura 9. Geomalla en fibra de vidrio



Fuente: <https://texdelta.com/geomalla-fibra-de-de-vidrio-para-capas-de-asfalto/>.

En el país algunos de los proveedores de geomallas para pavimentación más importantes son:

- Mexichem geomallas de fibra de vidrio PAVCO
- Geomatrix

En este caso, las geomallas implementadas para el proyecto fueron suministradas por Geomatrix, su planta, localizada estratégicamente en la capital de la república facilitó también, los certificados de calidad, así como laboratorios practicados a esta materia prima que garantiza así mismo el análisis de este proyecto de grado

Básicamente, las geomallas son estructuras bidimensionales que se elaboran en diferentes polímeros para que interactúen con el suelo, de tal manera que complementen la resistencia a la tensión de este, y así crear una resistencia geomalla-suelo adecuada para recibir cargas y distribuirlas uniformemente.

Las geomallas se clasifican en unidireccionales, bidireccionales y multidireccionales. Su principal aplicación se da en muros de contención, terraplenes, pavimentos flexibles, vías no pavimentadas y cimentaciones. Los que deberán tener la capacidad de absorber la suficiente cantidad de ligante asfáltico y presentar los siguientes requerimientos de propiedades mecánicas, como se puede observar en la Tabla (Véase Tabla 2).

Las propiedades de resistencia de las geomallas dependen de los requerimientos de supervivencia y de las condiciones y procedimientos de instalación.

Tabla 4. Normas por utilizar para requerimientos de las geomallas.

| NORMAS POR UTILIZAR PARA REQUERIMIENTOS DE LAS GEOMALLAS | |
|---|-----------------|
| Propiedad requerida | Norma de ensayo |
| Elongación máxima a la rotura | ASTM D-6637 |
| Resistencia a la tensión Grab. | ASTM D-6637 |
| Retención asfáltica | ASTM D-6140 |
| Masa por unidad de área | ASTM D-5261 |
| Punto de fusión | ASTM D-276 |

Fuente: Elaboración propia

7.5.2. Agrietamiento de un pavimento

El agrietamiento del pavimento es la señal de peligro más visible. Existen dos tipos comunes de agrietamientos, el reflexivo y la fatiga, que comienzan en la base de las capas del pavimento y emigran hacia la superficie. Ambos pueden ser retardados y controlados usando un sistema de entre capa con tela de pavimentación.

Un tercer tipo de problema es el agrietamiento por calor, causado por expansión y contracción actual, más que nada en la capa superior del pavimento, como ejemplo, en una carpeta asfáltica nueva.

Este agrietamiento no puede, siempre, ser prevenido por la capa de tela de pavimentación subyacente, pero los beneficios de impermeabilización del sistema de entrecapa con una tela de pavimentación, generalmente, se mantienen intactos si llegara a ocurrir agrietamiento por calor.

Figura 10. Agrietamiento de pavimento.



Fuente: identificación de fallas en Pavimentos y técnicas de Reparación

7.5.3. Retardación de grietas reflectivas

Las grietas en pavimentos existentes son transmitidas hacia la carpeta asfáltica nueva. Estas grietas reflexivas se pueden formar rápidamente si se hace un contacto fuerte convencional directamente sobre el pavimento viejo. Sin embargo, el uso de un sistema de entrecapa con tela de pavimentación provee un medio que absorbe los esfuerzos provenientes de la grieta antigua, retardando la propagación de la misma hacia la nueva carpeta asfáltica.

El sistema de geomalla de pavimentación es muy efectivo a menos que el agrietamiento viejo tenga un movimiento vertical u horizontal significativo (esto es, mayor de 2 pulg (5 cms) de movimiento vertical diferencial desde las losas oscilantes). Si esto ocurre, la entrecapa no puede absorber todo el esfuerzo y algunas grietas reflexivas pueden ocurrir. Sin embargo, los beneficios de impermeabilización todavía estarían presentes.

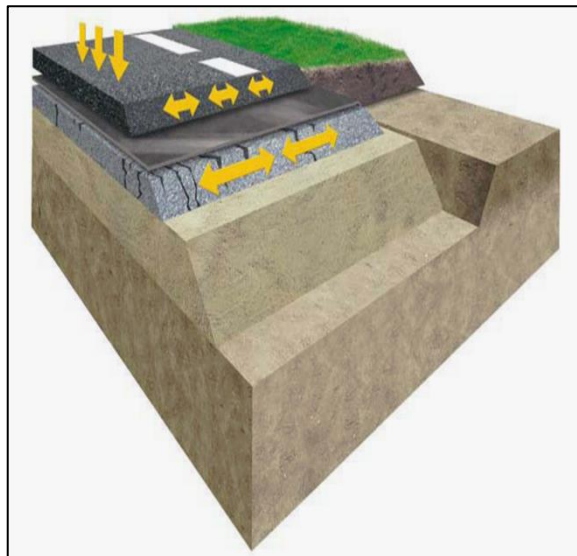
7.5.4. Resistencia al agrietamiento por fatiga

La flexión del pavimento, finalmente, puede causar agrietamiento por fatiga. El pavimento se agrieta a partir de la base donde la capa está a tensión.

Un contacto fuerte de la carpeta asfáltica nueva con solo un mínimo de riego de liga asfáltica tiende a entrelazar la carpeta a las capas inferiores del pavimento. Esto crea una capa de pavimento más gruesa.

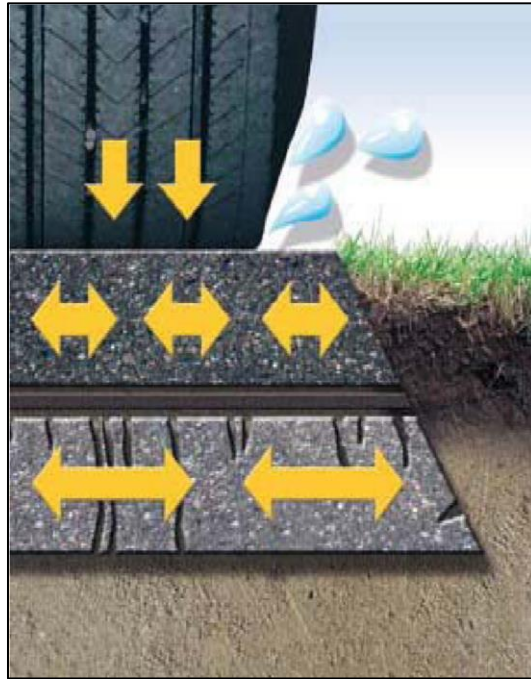
El uso de una entrecapa de tela de pavimento une la nueva carpeta asfáltica y las capas del pavimento existente, pero permite que ellas trabajen un poco independientemente, reduciendo el riesgo de esfuerzos y agrietamientos altos. Si ocurre flexión, se ha demostrado que un pavimento con una entrecapa de tela de pavimentación se dobla muchas veces más antes del agrietamiento.

Figura 11. Ilustración de grietas en el pavimento



Fuente: recuperado de www.fibertex.com/business-areas/civil-engineering.

Figura 12. La geomalla de pavimentación entre capas de asfalto.



Fuente: recuperado de www.fibertex.com/business-areas/civil-engineering

De la anterior figura, se puede afirmar que la geomalla absorbe los movimientos diferenciales entre capas asfálticas, lo que evita la formación de grietas por reflexión.

Figura 13. Carpeta asfáltica sin geomalla



Fuente: recuperado de www.fibertex.com/business-areas/civil-engineering

Es importante mencionar que según la *Figura 13. Carpeta asfáltica sin geomalla*, dentro del proceso de reciclado del pavimento, una carpeta asfáltica sin la geomalla de pavimentación producirá una rápida reflexión de las grietas desde la antigua a la nueva capa asfáltica y además el agua superficial penetrará sobre la capa antigua de asfalto. Esta situación acelerará el deterioro.

7.5.5. Preparación del pavimento para la colocación de las geomallas

La preparación del pavimento existente debe producir una superficie uniforme y una rigidez de la vía para recibir adecuadamente la capa de repavimentación. Tal preparación superficial debe incluir lo siguiente:

- Eliminar los movimientos diferenciales verticales en grietas mayores.
- Limpiar la superficie de polvo, mugre, vegetación y humedad.
- Llenar todas las grietas mayores de ¼ de pulgada (6.4 mm) con un imprimante para grietas.
- Limpiar el pavimento de protuberancias angulares.

A menudo, una capa de nivelación con mezcla asfáltica es colocada sobre un pavimento existente de calidad inferior, antes de la colocación del sistema de intercapa de geomalla para repavimentación. Una superficie fresada también puede ser usada debajo de un sistema de intercapa.

7.5.6. Instalando las geomallas de pavimento

La condición de la superficie del pavimento y su capacidad estructural deben ser determinadas antes de usar el sistema de geomalla de pavimentación. Para obtener un funcionamiento exitoso, el pavimento no debe tener movimientos verticales u horizontales significativos entre las grietas o uniones o deflexión local bajo la carga de diseño.

7.6. Ligante asfáltico

El material que se utilizará para saturar la geomalla y desarrollar la mencionada membrana visco-elasto-plástica, además de garantizar una adecuada adhesión de esta membrana a la base granular o a la mezcla asfáltica existente, y a la capa superior (capa de refuerzo, o de mantenimiento), podrá ser un cemento asfáltico de penetración 60-70 mm/10 (ASTM D-5), o una emulsión catiónica de rompimiento rápido tipo CRR-1, de tal forma que se satisfaga la cuantía de ligante asfáltico de retención. La geomalla se podrá colocar solo después del correspondiente rompimiento de la emulsión. Los asfaltos diluidos que contienen solventes no deberán ser usados.

7.7. Equipo

Se deberá disponer de los equipos adecuados para la imprimación, la colocación de la geomalla, la colocación y la compactación del concreto asfáltico de la capa de repavimentación, pavimentación o mantenimiento. El irrigador de asfalto debe ser capaz de aplicar el producto asfáltico de liga, a la tasa de aplicación especificada por el proyectista de manera uniforme. El irrigador también debe estar equipado con una boquilla de aspersión. El equipo mecánico o manual de instalación de la geomalla debe ser capaz de instalarlo uniformemente, cuidando de producir la mínima cantidad de arrugas.

Se deben suministrar los siguientes equipos misceláneos: escobas de cerda rígida o rodillos para uniformizar la superficie de la geomalla, tijeras o cuchillas para cortar la geomalla, cepillos para aplicar el sellador asfáltico a los traslapes de la geomalla.

Puede requerirse para ciertos trabajos, equipos de compactación neumática para uniformizar la imprimación de la geomalla con el ligante. La utilización de un compactador neumático puede ser requerida, especialmente, en trabajos donde se coloquen capas delgadas de mezcla asfáltica. Esto se realiza para mejorar la adhesión de la geomalla a las superficies debido a la ausencia de peso y temperatura asociada con capas delgadas.

7.8. Personal

El personal que se emplee para la pavimentación y repavimentación con geomallas debe ser suficiente y estar debidamente calificado para ejecutar el trabajo requerido, de acuerdo con lo establecido

7.9. Secuencia de Instalación

7.9.1. Limpieza de la superficie y reparación de grietas

La imprimación e instalación de la geomalla solo se deberá realizar cuando la limpieza de la superficie y la reparación de las grietas se hayan realizado, de acuerdo con los trabajos indicados en el proyecto.

Para garantizar que la adhesión de la geomalla a la capa asfáltica antigua y a la de repavimentación sea la adecuada, deberá preverse que la superficie sobre la cual se colocarán los rollos de geomalla esté libre de elementos tales como polvo, agua, vegetación y escombros que pudiesen entorpecer el contacto entre el ligante asfáltico y la carpeta vieja. Los equipos recomendables utilizados en

este tipo de operaciones son compresores neumáticos con boquillas adecuadas para limpieza o incluso se permite la utilización de escobas, como también se usan equipos de barrido mecánico.

Después de terminar el proceso de limpieza, las grietas que excedan los 6,4 milímetros (6,4 mm) de ancho deberán ser sopladas y selladas de acuerdo con la respectiva especificación particular del proyecto.

En áreas donde se presenten huecos o grietas considerables, se deben realizar excavaciones para reparación del pavimento existente, así como las operaciones de relleno que correspondan.

Donde la superficie se presente muy deformada se colocará mezcla asfáltica en caliente o en frío, que sirva como capa de nivelación, previamente a la aplicación del ligante asfáltico de retención.

7.9.2. Tasa y forma de aplicación del ligante asfáltico

La cantidad de ligante asfáltico a utilizar depende de la porosidad relativa de la capa antigua y de la geomalla por utilizar en el proceso de repavimentación, para garantizar el desempeño de la membrana visco-elasto-plástica lograda con la saturación de la geomalla. La cantidad de ligante asfáltico deberá ser la suficiente para satisfacer los requerimientos de la saturación de la geomalla.

Adicionalmente, se debe incluir la cantidad necesaria para adherir la geomalla y la nueva capa asfáltica a la superficie de la capa antigua. Sobre la superficie tratada se deberá extender el ligante asfáltico para lograr así la mencionada membrana visco-elasto-plástica.

Las técnicas de imprimación requieren que los equipos coloquen el ligante a una tasa uniforme, siendo necesario el uso de equipos mecánicos, tales como camiones irrigadores. Cuando se utilicen equipos manuales se puede lograr una aplicación adecuada del ligante, teniendo en cuenta que esta deberá ser homogénea y uniforme.

7.9.3. Temperaturas de trabajo

Para evitar daños a la geomalla, las temperaturas del camión irrigador de cemento asfáltico no deben exceder los 150°C. Los patrones de riego con emulsiones asfálticas son mejorados con calentamiento. Es deseable un rango

de temperaturas entre 55°C y 70°C. No debe excederse una temperatura de 70°C, puesto que a partir de esta puede romperse la emulsión.

Ni el sellador asfáltico ni la geomalla deben colocarse cuando las condiciones del clima no sean las adecuadas. Las temperaturas del aire y del pavimento deben ser las suficientes para permitir que el sellante asfáltico haga que la geomalla permanezca adherida en su sitio.

7.9.4. Colocación de la geomalla

La geomalla deberá ser colocada sobre el ligante asfáltico con una mínima cantidad de arrugas, antes que el ligante pierda adhesividad. La colocación de la geomalla podrá realizarse manual o mecánicamente, mediante equipos especiales para la colocación de los rollos y así de esta manera se podrá eliminar al máximo la formación de arrugas.

Los cuidados principales para el tratamiento de las arrugas incluyen los siguientes:

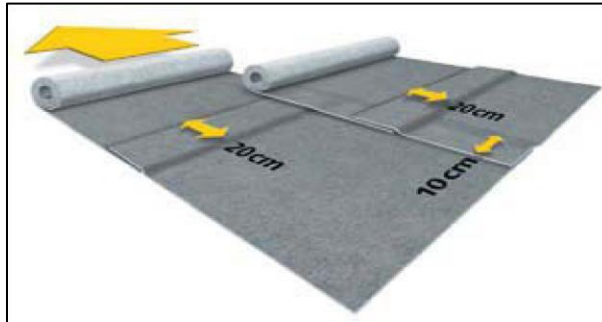
Las arrugas y dobleces de más de 25 mm deberán rasgarse y aplanarse siempre en el sentido del avance de los equipos utilizados en las labores de pavimentación o repavimentación, para evitar levantamientos.

En el caso de que la arruga o doblez sobrepase los 50 mm, este exceso deberá ser eliminado.

El traslape de la geomalla en reparación de arrugas deberá contemplar el uso de ligante adicional para saturar las dos capas de geomalla y formar una membrana visco-elasto-plástica uniforme y manteniendo el efecto impermeabilizador o de disipación de esfuerzos. Deberá contemplarse la menor dimensión posible para la conformación de los traslapes entre rollos adyacentes; los traslapes en cualquier dirección no deberán exceder veinte centímetros (20 cm). En las zonas de traslapes se deberá hacer una aplicación adicional de ligante asfáltico para garantizar la saturación total de la geomalla, según las expectativas mencionadas anteriormente.

Para facilitar un mayor contacto de la geomalla con el ligante y eliminar en mayor proporción las arrugas de la geomalla, se podrán utilizar equipos mecánicos como es el caso de un compactador de llantas.

Figura 14. Traslapes longitudinales y transversales.



Fuente: www.fibertex.com/business-areas/civil-engineering/functions

7.9.5. Colocación de la nueva capa asfáltica

Una vez instalada la geomalla, la nueva capa asfáltica se colocará en el menor tiempo posible. La temperatura de colocación de la mezcla no deberá exceder los 150 °C. Cuando el asfalto de liga traspasa la geomalla por sobresaturación, de tal forma que se puedan causar algunos problemas especialmente al tránsito del equipo de construcción produciendo desprendimientos de la geomalla, se permitirá esparcir una película de arena limpia sobre la huella de las llantas del equipo, para que el exceso sea absorbido por esta arena y se impida el desprendimiento de la geomalla. Posteriormente, estos excesos de arena serán retirados para proceder a la colocación de la nueva carpeta asfáltica.

Para evitar que la membrana visco-elastoplástica lograda mediante la correcta colocación de la geomalla se desplace y se produzcan daños, las maniobras de la pavimentadora y demás equipo deben ser graduales y el tráfico sobre esta superficie deberá ser mantenido a un mínimo posible.

Se deben tener cuidados especiales ante las condiciones climatológicas adversas, no se podrá instalar la geomalla cuando la capa de pavimento existente esté en condiciones húmedas. En el caso de querer hacer grandes avances en la instalación de la geomalla es necesario prever que no lloverá en la zona. Esta es la única condición que pudiera llegar a afectar el avance de obra.

7.10. Aspectos técnicos a tener en cuenta

Durante la ejecución de los trabajos se deben llevar los siguientes controles:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el constructor

- Verificar la limpieza de la superficie de la capa asfáltica antigua y la correcta reparación de las grietas existentes, de acuerdo con lo definido en las especificaciones.
- Vigilar la correcta dosificación de la cantidad de ligante asfáltico, según las especificaciones particulares del proyecto.
- Verificar la temperatura del ligante en el momento de colocación de la geomalla, de acuerdo con lo descrito en las especificaciones.
- Verificar la correcta colocación de la geomalla, los tratamientos de las arrugas y los traslapos entre los rollos de geomalla, de acuerdo con lo definido en las especificaciones.
- Verificar la colocación y la densificación de la nueva capa asfáltica y sus dimensiones, según lo especificado en el proyecto.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan con los requisitos de calidad exigidos por las especificaciones.
- Vigilar las condiciones climáticas durante los procesos de aplicación del ligante asfáltico e instalación de la geomalla y la colocación de la capa asfáltica.
- Efectuar ensayos de control sobre la geomalla de conformidad con lo establecido en las normas: ASTM D-6637 que se refieren a la metodología de muestreo para ensayos y la práctica para dar la conformidad de las especificaciones de los geosintéticos. Y los ensayos de control sobre el ligante asfáltico, los agregados pétreos y el material de la capa de asfáltica deberán regirse por las especificaciones del proyecto.
- Verificar que cada rollo de geomalla tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo, junto con una declaración del fabricante que deberá incluir la información que se refiere a la conformidad de la geomalla.
- Comprobar que durante el transporte y el almacenamiento, las geomallas tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas a su satisfacción.

7.11. Calidad de la geomalla

Cada despacho de geomalla deberá ser sometido a un proceso de conformidad de las especificaciones y de la normas ASTM D-6637, que se refieren a la metodología de muestreo para ensayos y la práctica para dar la conformidad de las especificaciones de los geosintéticos por usar.

Es importante tener en cuenta los ensayos reportados por el fabricante, de igual forma independientemente que la geomalla tenga certificado de calidad, es recomendable que se le realicen ensayos de elongación y demás para garantizar la calidad de la misma en obra.

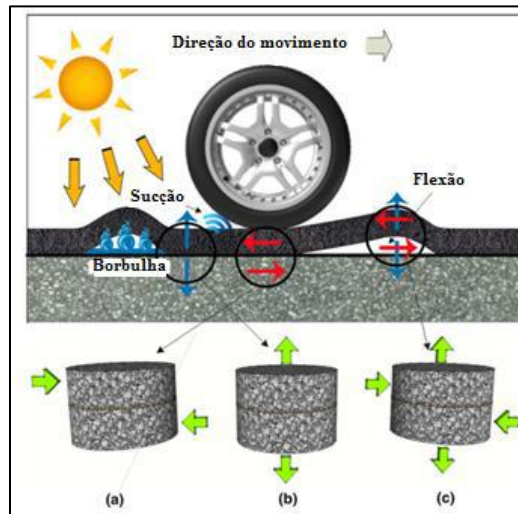
7.12. Factores que influyen en geosintéticos adherencia - asfalto de mezcla

Según Nithin et al. (2015) los problemas de adhesión en los revestimientos asfálticos son clasificado en tres modos diferentes: la separación por cizalla (Método A) separación de tracción (Método B) y separación para la tracción combinada y los efectos de cizallamiento (Método C) (Figura 12).

El modo A es inducido debido al tráfico vehicular y de la temperatura, que generan los esfuerzos cortantes en el recubrimiento. El modo B es debido a la expansión causada gases de por el agua acumulada y la actividad microbiológica, retenido en la interfaz entre el revestimiento y capa de base, el empeoramiento de la situación debido a la succión ejercida por los neumáticos.

Se genera el modo C cuando los vehículos se mueven en una fina capa de recubrimiento de asfalto, donde cargas se concentran en la superficie del recubrimiento, lo que genera problemas de tracción capa bituminosa. En el caso de recubrimientos de asfalto reforzado con geosintético, los principales factores influyen en la adherencia son tipos de geosintéticos tipo de ligante asfáltico, contenido de asfalto magnitud residual de la carga vertical y la velocidad de cizallamiento.

Figura 15. Mecanismos de fallo para los problemas de adherencia



Fuente: Jaime Rafael Obando Ante (2016)

El éxito de la restauración de recubrimientos de asfalto con geosintéticos es fuertemente influenciado por la selección apropiada de la tasa de aplicación adecuada de aglutinante de asfalto, viscosidad, mala aplicación o exceso, la distribución no homogénea del material

8. NORMATIVIDAD VIGENTE SOBRE USO DE LAS GEOMALLAS.

Actualmente, para el caso de la ciudad de Bogotá, particularmente el instituto de desarrollo urbano IDU, cuenta con la especificación técnica sección 342-11, la cual tiene como objetivo clave, “*utilización de Geomallas, hechas con materiales resistentes a las altas temperaturas y recubiertas con bitumen, entre una capa inferior constituida por un concreto asfáltico nuevo o antiguo y una capa asfáltica nueva*”, da los parámetros técnicos para la implementación de este geosintéticos en las capas de concreto asfáltico en la ciudad.

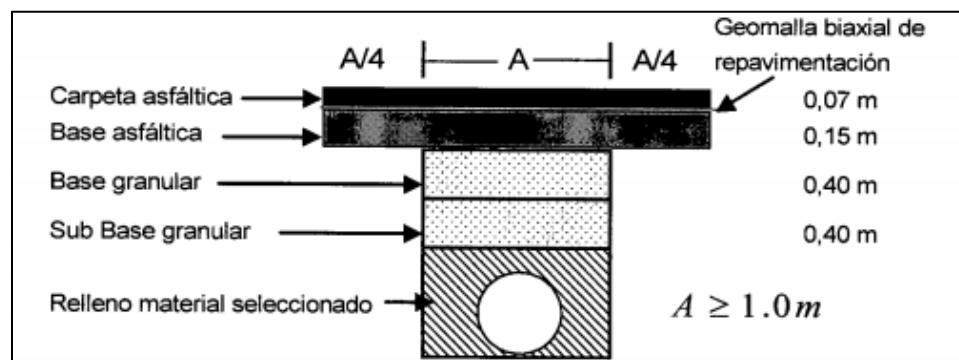
De igual forma, menciona el tipo de geomallas a utilizar, textualmente se refiere a que estas deben soportar altas temperaturas de alta resistencia a la tracción y alto módulo de elasticidad para elongaciones bajas.

Puntualmente se refiere a dos tipos de geomallas, las elaboradas con fibras continuas de multifilamentos de poliéster de alta tenacidad, (utilizada en este proyecto), y las geomallas con filamentos de fibra de vidrio.

Por otra parte, menciona condiciones técnicas particulares a la hora de realizar el suministro e instalación de geomallas en las obras de infraestructura vial de la ciudad.

Por otra parte, las obras donde sea necesario contar con licencia de excavación, deben seguir los criterios del anexo técnico, el cual cita los distintos tipos de estructuras viales y de espacio público, así como materiales y especificaciones particulares a tener en cuenta, este anexo menciona el uso de geomallas en vías arteriales o intermedias

Figura 16. Estructura tipo de pavimento flexible en vías arteriales o intermedias

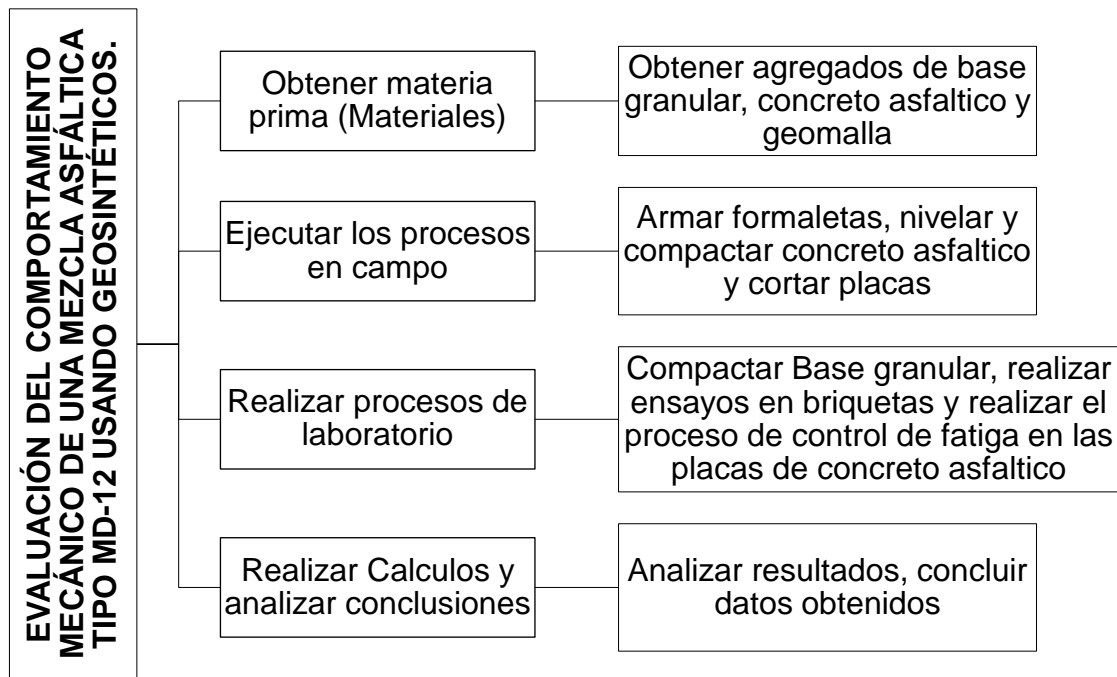


Fuente: Anexo Técnico para recuperación de espacio público intervenido bajo licencias de excavación.

9. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

Dentro de los trabajos realizados, válidos para cumplir a cabalidad los objetivos propuestos se establecieron los siguientes procesos:

Figura 17. Metodología y procesos de trabajo

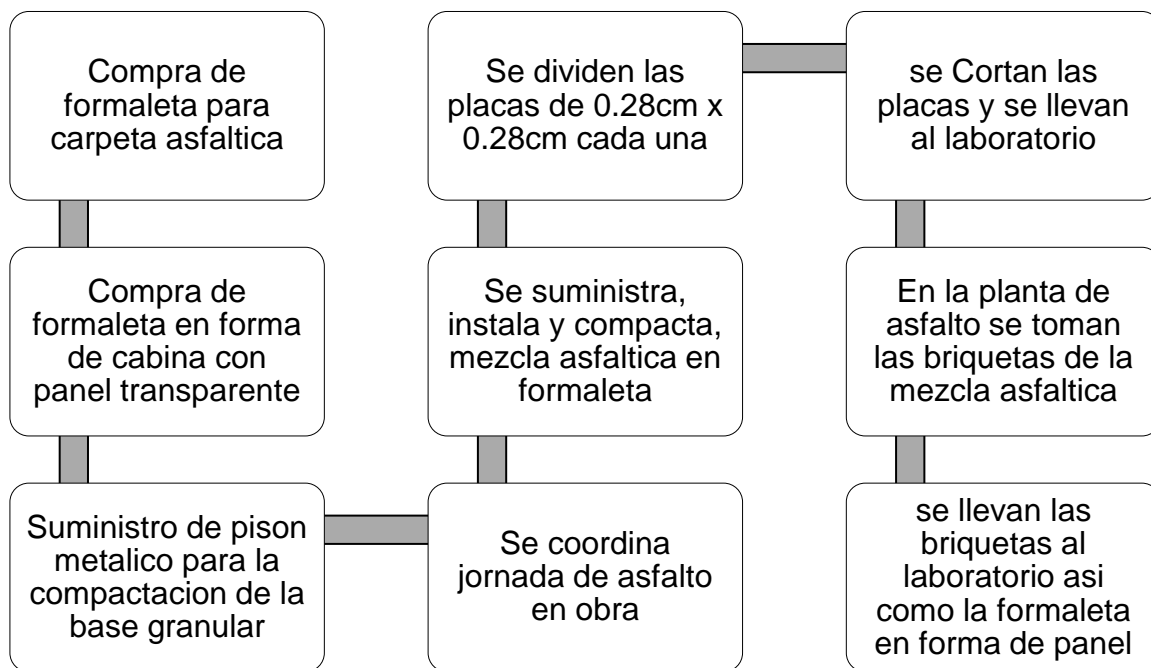


Fuente: elaboración propia

Partiendo de lo anterior, se argumentan los procesos realizados dentro del marco del análisis técnico de cada uno de los pasos ejecutados en la elaboración del proyecto, es importante mencionar que se tuvo en cuenta la normatividad relacionada, la cual examina a cabalidad las características de los materiales y las exigencias particulares de cada uno.

9.1. Procesos de campo implementados

Figura 18. Procesos de campo realizados



Fuente: elaboración propia

Se argumenta el objeto de este proyecto en la recreación de condiciones reales de obra, por ende, los procesos de campo como la recolección de muestras, la instalación y compactación de las muestras de asfalto, entre otros

Figura 19. Idea fundamental del modelo físico



Fuente: elaboración propia

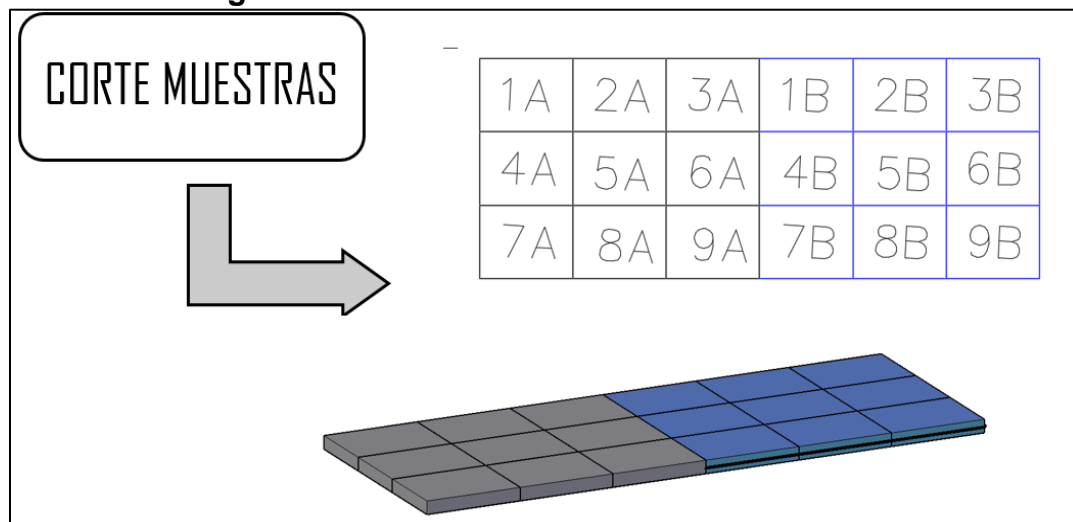
9.1.1. Formaletas utilizadas.

Dentro de los procesos a ejecutar, estaban los de construir formaletas que permitan ejecutar el modelo físico del proyecto, es importante mencionar que este modelo, se compone de realizar una urna la cual tenga en su parte frontal una ventana transparente, donde permita evidenciar visualmente aquellos procesos relacionados con los controles de fatiga, las cargas utilizadas, el comportamiento de la carpeta asfáltica cuando es sometida a una carga monótonica entre otros fenómenos teniendo en cuenta un contexto de cargas reales que permitan un análisis efectivo.

A continuación, se ilustra la idea fundamental para la construcción de una formaleta metálica, que pueda dar soporte a condiciones reales, que pudiera soportar el peso del vibro compactador, así como el compactador de llantas, dicha idea se fundamenta en dos segmentos cuadrados de 1 metro cuadrado, el primero con mezcla asfáltica convencional y la segunda con la misma mezcla pero con una capa intermedia de geomalla.

Luego de su compactación, se realizó un corte para modular dichas placas a 30 cm x 30cm, es importante mencionar que las panelas o placas con letra B, tienen geomalla, las placas con letra A, son enfocadas a un control.

Figura 20. Idea fundamental del modelo físico



Fuente: elaboración propia

Lo anterior se resume en una serie de pasos, los cuales se enumeraran a continuación:

- Lo primero que se hizo fue la preparación del terreno para la elaboración de las muestras de asfalto. A continuación, se ilustran este proceso a priori de la instalación de la mezcla asfáltica densa en caliente, es importante mencionar que este proceso se ejecutó en paralelo de actividades de obra con maquinaria específica indicada según las especificaciones IDU.

Figura 21. Preparación de terreno



Fuente: elaboración propia

- Luego de esto, se procede a instalar la formaleta metálica, se da inicio a la instalación de la mezcla asfáltica en caliente. Con ayuda de la formaleta, se empieza la elaboración de las muestras empezando por la base.

Figura 22. Elaboración de placas



Fuente: elaboración propia

- Es importante mencionar que, en el proceso de instalación de la mezcla asfáltica densa en caliente, MD-12 se realizó justo al tiempo cuando se estaba realizando una jornada de pavimentación de una vía en la ciudad de Bogotá, por ende, uno de los objetivos de este proyecto es recrear condiciones de obra reales.
- De igual forma, los procesos en obra se realizaron siguiendo las especificaciones del IDU, por ende, además de tener equipo y mano de obra idóneo, se implementaron mecanismos de calidad en la instalación de la mezcla asfáltica, de igual forma se verificó la temperatura de la mezcla asfáltica, para así garantizar los tiempos apropiados de instalación y compactación, a continuación, se muestra la fotografía donde se evidencia la temperatura de la mezcla asfáltica al momento de llegar a la obra

Figura 23. Capa de rodadura



Fuente: elaboración propia

- Luego de esto, se procede a la instalación de la geomalla, tal cual como se explicó en la idea fundamental del modelo físico, es importante mencionar que la geomalla se instaló en el tercio bajo de la placa, partiendo del concepto que este geosintético trabaja ayuda a evitar los procesos de flexión de la placa, a continuación se puede observar el proceso anteriormente mencionado.

Figura 24.Instalación geomalla



Fuente: elaboración propia

- Se procede con la colocación de la capa de rodadura, cabe resaltar que la mezcla para las dos capas de la estructura de concreto asfáltico es la misma.

Figura 25.Capa de rodadura



Fuente: elaboración propia

- Por último, se procede a compactar la muestra con las mismas características que se hace en campo, para así tener una mayor confiabilidad de los datos al momento de hacer los ensayos.

Figura 26. Compactación de mezcla asfáltica



Fuente: elaboración propia

- Entre las ventajas de realizar las actividades válidas para este proyecto enfocadas a ejecutar los procesos de instalación y compactación de la mezcla asfáltica en obra, estos procesos garantizan la calidad y la posibilidad de obtener resultados más confiables en laboratorio.

Figura 27. Compactación de mezcla asfáltica



Fuente: elaboración propia

- Por otra parte, se realiza la construcción de la urna o formaleta en forma de cabina, donde se puedan observar los procesos de compactación y así entender los procesos físicos que ocurren en una estructura de pavimento, por ende, a continuación, se ilustra dicha formaleta, fundamental a la hora del análisis técnico de los resultados de este proyecto.

Figura 28. Elaboración formaleta



Fuente: elaboración propia

Dicha urna tiene unas dimensiones de 0.30m x 0.30m x 0.30m, por ende, las panelas, así como el pisón de compactación tenían que ceñirse a estas medidas base, por ende, a continuación, se ilustra el pisón metálico que ayudo a realizar la compactación de la base granular sobre la urna recién construida

Figura 29. Pisón de compactación de base granular



Fuente: elaboración propia

9.2. Caracterización de Materiales

Dentro de los materiales, materia prima de este proyecto se encuentran los descritos a continuación

- Asfalto
- Base granular
- Geomalla

9.2.1. Base Granular - BG-B

El material de soporte para el análisis del modelo físico de este proyecto, se enfocó a tomar condiciones reales de obra, por lo que se decidió realizarlo con base granular que cumple con las especificaciones IDU, el tipo de base es BG-B con un espesor de 24 centímetros, debidamente compactados en capas de 6 cm respectivamente.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos, válidos para caracterización y verificación de la calidad del material pétreo, es importante mencionar que la cantera donde se tomaron las muestras, fue Constriturar¹¹, está localizada en la localidad de Ciudad Bolívar, y su ubicación geográfica es

¹¹ Esta fuente de materiales, es una de las reconocidas actualmente en el gremio de la construcción de vías en la ciudad de Bogotá, esta cantera cuenta con todos los permisos de explotación de materiales, lo cual garantiza que los procesos son ejecutados de acuerdo a la normatividad ambiental vigente.

idéntica a la mencionada en la *Figura 35. Plano geológico Localización de la cantera de material pétreo.*

La caracterización del concreto asfáltico, se encamino a un tipo de tráfico NT3, lo cual, según la tabla 330-1 del INVIAS, dice que se debe usar una base granular clase A (BG-A), sin embargo, para este proyecto en particular se tomó Base granular BG-B, debido a que comercialmente era la opción mas viable.

Tabla 5: Uso típico de las diferentes clases de base granular

| CLASE DE BASE GRANULAR | NIVEL DE TRÁNSITO |
|------------------------|-------------------|
| Clase C | NT1 |
| Clase B | NT2 |
| Clase A | NT3 |

Fuente: Invias, artículo 330

Tabla 6: caracterización de material Base Granular BG-B

| CARACTERISTICA | NORMA DE ENSAYO INV | BG-B NT3 | |
|--|---------------------|----------------|------------|
| | | INTERMEDIA | INTERMEDIA |
| Dureza (o) | | ESPECIFICACION | RESULTADOS |
| Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) •500 revoluciones (%) | E-218 | 40 | 38.9 |
| Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%) | E-238 | 30-25 | -- |
| Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%) | E-224 | 70 75 | 171 85 |
| Durabilidad (o) | | | |
| Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) •Sulfato de sodio •Sulfato de magnesio | E-220 | 12 18 | - -- |
| Limpieza (f) | | | |
| Límite líquido, máximo (%) | E-125 | 0 | NL |
| Índice de plasticidad, máximo (%) | E-125 E-126 | 0 | NP |
| Equivalente de arena, mínimo (%) | E-133 | 30 | 49 |
| Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%) | E-211 | 2 | - |
| Geometría de las Partículas (F) | | | |
| Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara - Dos caras | E-233 | 70 50 | -- -- |
| Resistencia del material (F) | | | |
| CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo | E-148 | >80 | --- |

Fuente: elaboración propia

De igual forma, se presenta a continuación, la tabla de granulometría, donde se evidencia que la base granular utilizada para este proyecto cumple con lo establecido con la especificación técnica del IDU, capítulo 4.

Tabla 7: Granulometría de base granular BG-B

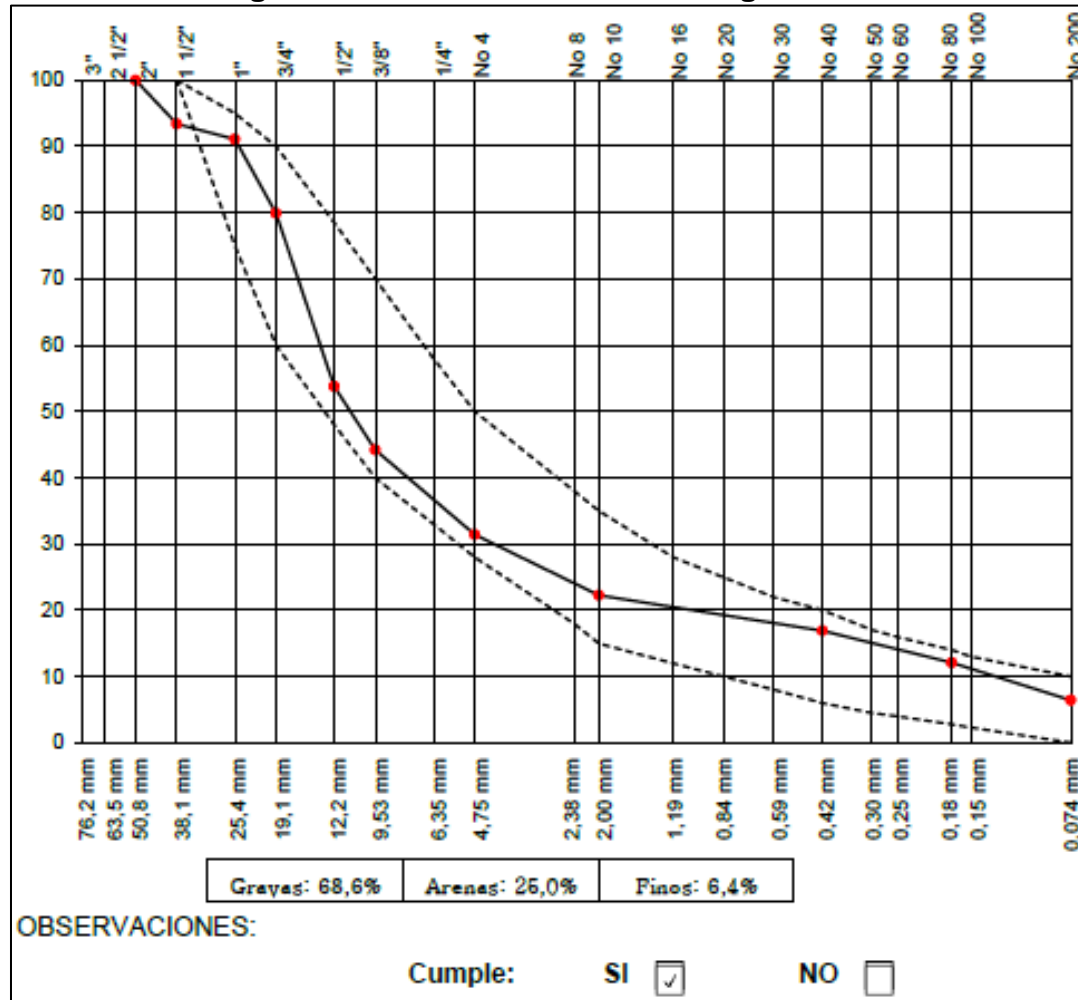
| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO | | | |
|-------------------------|------------------|---------------|-----------|
| PESO INICIAL (g) : | | 2601,4 | |
| TAMIZ No | PESO RETENIDO | % RETENIDO | % PASA |
| 2" | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| 1 1/2" | 171,7 | 6,6 | 93,4 |
| 1" | 60,3 | 2,3 | 91,1 |
| 3/4" | 290,8 | 11,2 | 79,9 |
| 1/2" | 679,3 | 26,1 | 53,8 |
| 3/8" | 249,8 | 9,6 | 44,2 |
| No 4 | 331,9 | 12,8 | 31,4 |
| 10 | 239,1 | 9,2 | 22,2 |
| 40 | 139,4 | 5,4 | 16,9 |
| 80 | 124,4 | 4,8 | 12,1 |
| 200 | 148,4 | 5,7 | 6,4 |
| Fondo | 166,3 | 6,4 | 0,0 |

Fuente: G&S Laboratorios

Es importante mencionar que la tabla anterior, tabula los límites de la especificación, válidos para a la postre graficar y cotejar los datos con la granulometría obtenida, todos estos ensayos se realizaron en el laboratorio G&S, previamente mencionado en este proyecto.

Así mismo, a continuación, se ilustra la gráfica de granulometría, donde se relacionan los límites de la especificación, de igual forma se evidencia que la base granular utilizada en este proyecto está dentro de dicho margen, es de anotar que según la gráfica, el material está compuesto por un porcentaje importante de agregado fino que en consecuencia tiende hacia el límite fino de la especificación.

Figura 30. Granulometría de Base granular.



Fuente: G&S Laboratorios

A continuación, se ilustran los diferentes ensayos practicados a la base granular tipo BG-B, con el fin de caracterizar sus propiedades mecánicas.

Tabla 8: Desgaste en la maquina de los angeles, BG-B

| PRUEBAS | En Seco 100 revoluciones | En Seco 500 revoluciones | Despues de 48 horas de Inmersion 500 Revoluciones | Relacion Humedo/Seco 500 Revoluciones |
|--|-----------------------------|-----------------------------|---|--|
| GRADACIÓN USADA | A | A | | |
| No. ESFERAS | 12 | 12 | | |
| No. REVOLUCIONES | 100 | 500 | | |
| Pa = PESO MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO, G.M.S. | 5.000 | 5.000 | | |
| Pb = PESO MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO Y DESPUES DE LAVAR SOBRE TAMIZ No. 12 | 4.392 | 3.056 | | |
| Pa - Pb = PERDIDA | 608 | 1.944 | | |
| % DESGASTE $\frac{Pa - Pb}{Pa} \times 100$ | 12,2% | 38,8% | | |
| ESPECIFICACIÓN IDU TABLA 400.3 : MENOR DE | | 40,0% | | |

Fuente: G&S Laboratorios

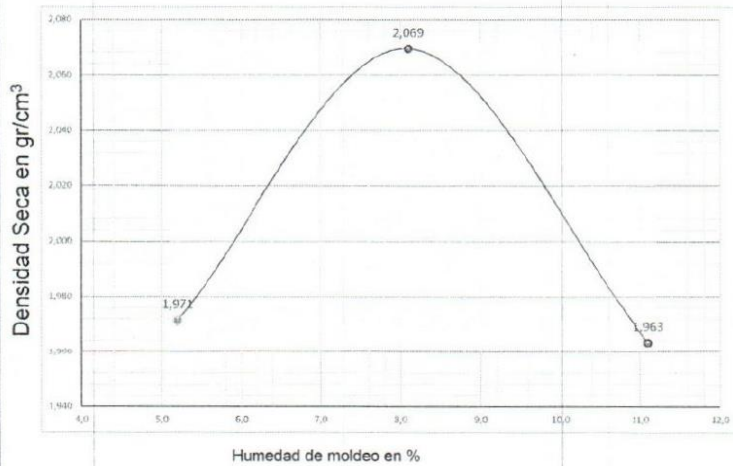
Tabla 9: Ensayo de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos

| CONDICIÓN DE ENSAYO DE LA MUESTRA | | SECA | | |
|--|----|--------|--------|--------|
| NUMERO DE ENSAYO | | 1 | 2 | 3 |
| Penetración seleccionada. | mm | 20 | 20 | 20 |
| f : Carga aplicada. | kN | 169,5 | 168,7 | 167,2 |
| M1 : Masa agregado usado en el ensayo. | g | 2311,4 | 2315,8 | 2317,5 |
| M2 : Masa muestra que pasa en el tamiz No. 8, después del ensayo. | g | 221,9 | 226,7 | 230 |
| M3 : Masa muestra retenida en el tamiz No. 8, después del ensayo. | g | 2090 | 2089 | 2087 |
| m : Relacion M2/M1 | % | 9,6 | 9,8 | 9,9 |
| F : Maxima Fuerza. Valor del 10% de finos | kN | 174 | 171 | 168 |
| Promedio fuerza | kN | 171 | | |

Fuente: G&S Laboratorios

Tabla 10: Ensayo modificado de compactación

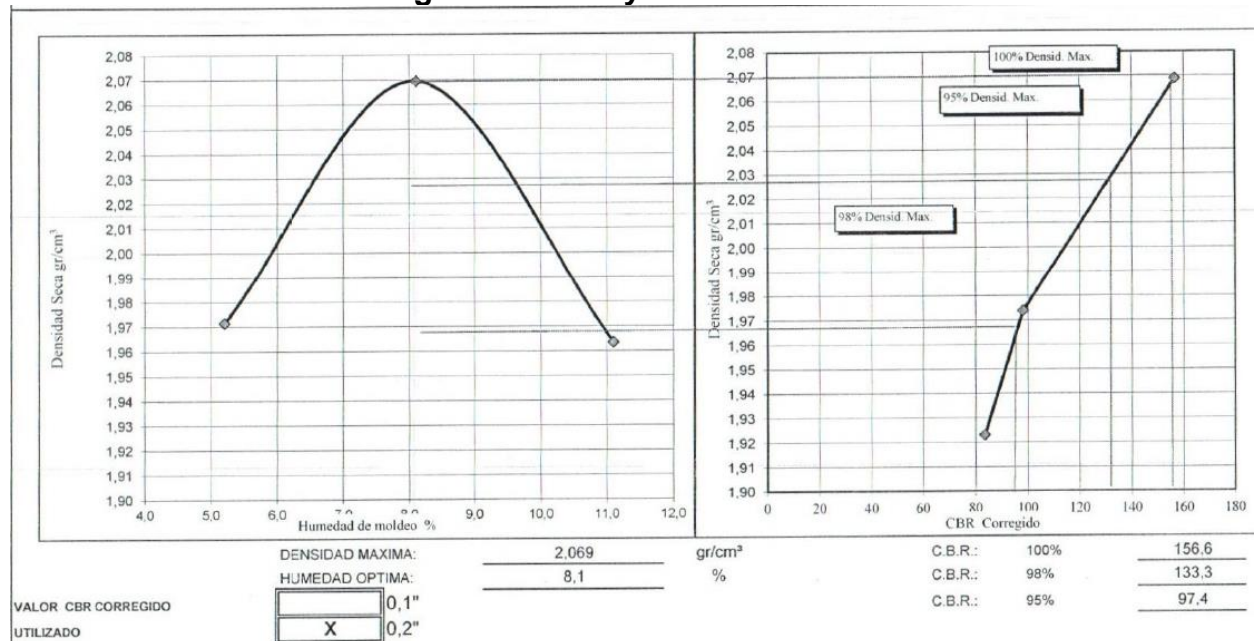
| PRUEBA | 1 | 2 | 3 | CBR | CBR | CBR |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| No. de golpes | 56 | 56 | 56 | 56 | 26 | 12 |
| Molde No. | 19 | 19 | 19 | 4 | 8 | 13 |
| Humedad natural muestra (%) | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 |
| Humedad adicional (%) | 0,0 | 3,0 | 6,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Peso muestra humeda, gramos | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 |
| Peso muestra seca, gramos | 5688 | 5688 | 5688 | 5688 | 5688 | 5688 |
| Agua adicional, cm ³ | 0 | 180 | 360 | 180 | 180 | 180 |
| Peso muestra humeda + molde, gramos | 6689 | 7040 | 6920 | 9280 | 8402 | 9744 |
| Peso molde, gramos | 2228 | 2228 | 2228 | 4140 | 3369 | 4904 |
| Peso muestra humeda, gramos | 4461 | 4812 | 4692 | 5140 | 5033 | 4840 |
| % humedad (horno) | 5,2 | 8,1 | 11,1 | 8,1 | 8,2 | 8,3 |
| Peso muestra seca, gramos | 4240 | 4451 | 4223 | 4755 | 4652 | 4469 |
| Volumen del molde, cm ³ | 2151 | 2151 | 2151 | 2298 | 2357 | 2324 |
| Densidad muestra seca, gr/cm ³ | 1,971 | 2,069 | 1,963 | 2,069 | 1,974 | 1,923 |



| | |
|------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA: | 2,069 |
| HUMEDAD OPTIMA: | 8,1 |

Fuente: G&S Laboratorios

Figura 31: Ensayo de CBR



Fuente: G&S Laboratorios

A continuación, se muestra la clasificación A.A.S.H.T.O y U.S.C.S así como Parámetros derivados de la granulometría, relacionados con los coeficientes de curvatura y uniformidad, donde como resultado se obtuvo que la base granular tipo BG-B utilizada en este proyecto, cumple con la especificación.

Figura 32. Granulometría de Base granular.

| Especific. | Resultado |
|------------------------|-----------|
| LÍMITE LÍQUIDO: | 0 |
| LÍMITE PLÁSTICO: | |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD: | N.P. |
| HUMEDAD NATURAL: | 3,5 |
| $C_u =$ | 93,4 |
| $C_e =$ | 1,6 |
| CLASIFICACIÓN | |
| A A S H T O (I.G.): | A-1-b (1) |
| U. S. C. S.: | GW-GM |

Fuente: G&S Laboratorios

Figura 33. Límites de Atterberg

| LÍMITES DE ATTERBERG | | | | |
|--|--|----|--|---------|
| LÍMITE LÍQUIDO | | | | |
| No GOLPES | | | | |
| No DE LATA | | | | |
| P ₁ (gr) | | NL | | |
| P ₂ (gr) | | | | |
| P ₃ (gr) | | | | |
| % HUMEDAD | | | | |
| LÍMITE PLÁSTICO | | | | |
| | | | | w. Nral |
| No DE LATA | | | | P-14 |
| P ₁ (gr) | | NP | | 2635,30 |
| P ₂ (gr) | | | | 2548,90 |
| P ₃ (gr) | | | | 109,30 |
| % HUMEDAD | | | | 3,54 |
| Cumple: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | | | | |
| LÍMITES DE ATTERBERG | | | | |
| 0,0 | | | | |
| -0,1 | | | | |
| -0,2 | | | | |
| -0,3 | | | | |
| -0,4 | | | | |
| -0,5 | | | | |
| -0,6 | | | | |

Fuente: G&S Laboratorios

9.2.2. Asfalto

En este apartado, se hace énfasis en que la mezcla asfáltica utilizada para el desarrollo técnico del proyecto, es una tipo MD-12 o MDC-2, la caracterización tanto del agregado como del bitumen, se ilustra a continuación:

9.2.2.1. Agregados pétreos y llenante mineral

De acuerdo a las especificaciones del INVIAS, a continuación, se resumen los resultados en laboratorio obtenidos previamente, valido para caracterizar los materiales de agregado a priori de la obtención de la mezcla asfáltica y así finalmente, tener parámetros técnicos que permitan discernir los resultados obtenidos.

Es importante afirmar que el material de concreto asfaltico utilizado fue MD-12 o MDC-19, la cual pertenece según a la *Tabla 11: Denominación de capas asfálticas en caliente de gradación continua*, a un tipo de capa intermedia y un nivel de tránsito NT3, por lo tanto sus características técnicas fueron encaminadas a este tipo de mezcla.

Tabla 11: Denominación de capas asfálticas en caliente de gradación continua

| TIPO DE CAPA | DESCRIPCIÓN |
|--------------|---|
| Rodadura | Capa superior |
| Intermedia | Capa subyacente a la rodadura, en estructuras con 2 o más capas asfálticas |
| Base | Capa o capas subyacentes a la intermedia, en estructuras con 3 o más capas asfálticas |

Fuente: artículo 450 Instituto Nacional de Vías - INVIAS

Los agregados pétreos fueron obtenidos de la planta de asfaltos AJCM, la cantera está localizada en las afueras de la ciudad en el municipio de tengo, vereda la punta, teniendo en cuenta esta localización, esta cantera localizada cerca a la sabana de Bogotá, el suelo proviene de depósitos de lecho de diatomita locales¹² que, según la información obtenida en INGEOMINAS data del pleistoceno.

A continuación, se ilustra la localización de la cantera donde se obtuvieron los agregados para el concreto asfaltico, este no es un dato menor si se tiene en

¹² SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, Atlas Geológico de Colombia 2015, Plancha_5-14_AGC_2015

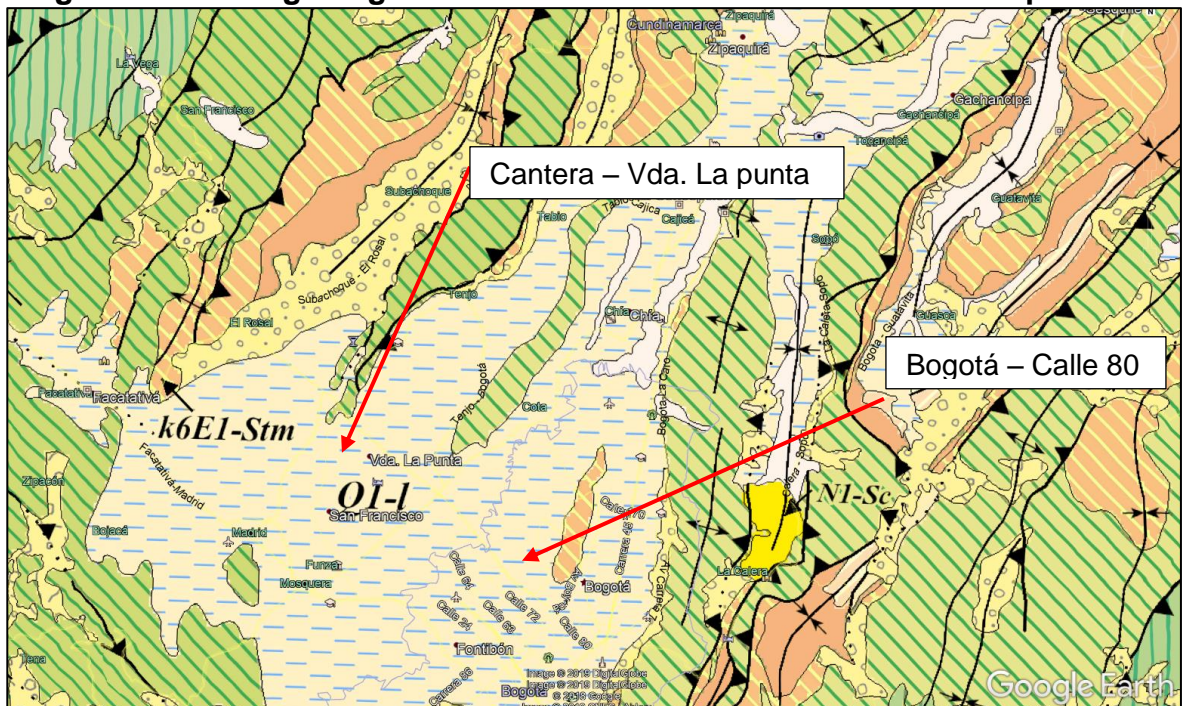
cuenta que los materiales que allí se trabajan, se producen para diferentes obras en la capital de la república.

Figura 34. Localización de la cantera



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Figura 35. Plano geológico Localización de la cantera de material pétreo.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Basados en lo anterior, se procede a enviar una muestra representativa al laboratorio G&S localizado en Bogotá, localidad de Fontibón, cabe resaltar que este cuenta con certificaciones y equipos debidamente calibrados, aptos para el desarrollo de los diferentes ensayos a realizar, es importante tener en cuenta lo anterior a priori de la demostración de los resultados.

Tabla 12: caracterización de material pétreo de Carpeta asfáltica

| CARACTERISTICA | NORMA DE ENSAYO INV | MDC NT3 | |
|---|---------------------|----------------|------------|
| | | INTERMEDIA | INTERMEDIA |
| Dureza (o) | | ESPECIFICACION | RESULTADOS |
| Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) •500 revoluciones (%) | E-218 | 35 | 32 |
| Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%) | E-238 | 25 | -- |
| Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%) | E-224 | 90 75 | 105 85 |
| Durabilidad (o) | | | |
| Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) •Sulfato de sodio •Sulfato de magnesio | E-220 | - 18 | - 16 |
| Limpieza (f) | | | |
| Límite líquido, máximo (%) | E-125 | - | - |
| Índice de plasticidad, máximo(%) | E-125 E-126 | NP | NP |
| Equivalente de arena, mínimo (%) | E-133 | 50 | 198 |
| Valor de azul de metileno, máximo | E-235 | 10 | -- |
| Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%) | E-211 | - | - |
| Geometría de las Partículas (F) | | | |
| Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara - Dos caras | E-233 | 75 - | -- - |
| Gradación (F) | | | |
| Pasa 200 máximo % | | 4 - 8 | 6.4 |

Fuente: elaboración propia

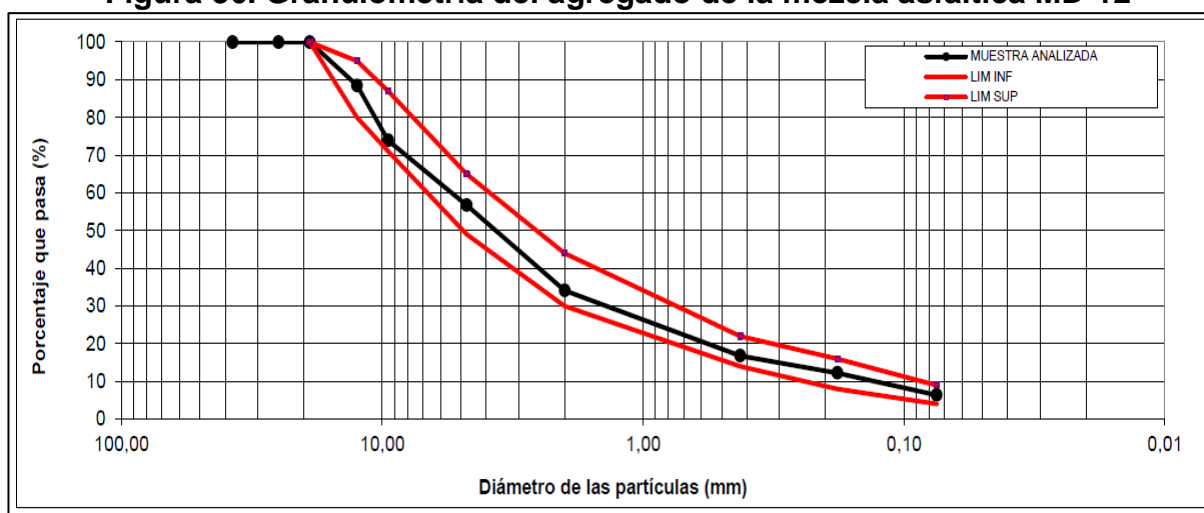
A continuación, se ilustran los ensayos realizados al agregado, válido para su caracterización de acuerdo a las especificaciones vigentes IDU.

Tabla 13 Granulometría del agregado de la mezcla asfáltica MD-12

| ESPECIFICACION MD12 Tabla 510.4 INV 2011 | | | | | | | | |
|--|---------|---|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------|---------------|
| Cliente: | | SIN REFERENCIA SECTOR MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MD-12 FECHA DE TOMA: SIN REFERENCIA | | | | Referencia: | | DPA 0850-18-1 |
| Dirección: | | | | | | Laboratorista: | | W. NIÑO |
| Obra: | | | | | | Fecha de Ensayo: | | 2018-12-11 |
| Descripción: | | | | | | Página: | | 1 DE 1 |
| Localización: | | | | | | | | |
| MASA TOTAL SECA ANTES DE LAVADO (g) | | | 1906,2 | INVE 732:2013 | Masa del filtro antes de ensayo (g) = | | | 20,2 |
| MASA SECA DESPUÉS DE LAVADO (g) | | | 1785,8 | | Masa después de ensayo (g) = | | | 21,2 |
| Tamiz | | Masa retenida (g) | Porcentaje retenido (%) | Porcentaje retenido acumulado (%) | Porcentaje que pasa (%) | Límites Especificación | | |
| milímetros | Alterno | | | | | Inferior | Superior | |
| 37,50 | 1½ | | | | 100 | | | |
| 25,00 | 1 | | | | 100 | | | |
| 19,00 | ¾ | | | | 100 | 100 | | |
| 12,50 | 1/2 | 219,4 | 12 | 12 | 88 | 80 | 95 | |
| 9,50 | 3/8 | 278,2 | 15 | 26 | 74 | 71 | 87 | |
| 4,75 | No 4 | 327,0 | 17 | 43 | 57 | 49 | 65 | |
| 2,00 | No. 10 | 432,8 | 23 | 66 | 34 | 30 | 44 | |
| 0,43 | No. 40 | 329,4 | 17 | 83 | 17 | 14 | 22 | |
| 0,18 | No. 80 | 87,2 | 5 | 88 | 12 | 8 | 16 | |
| 0.08 | No. 200 | 111.8 | 5.9 | 93.6 | 6.4 | 4 | 9 | |

Fuente: G&S Laboratorios

Figura 36. Granulometría del agregado de la mezcla asfáltica MD-12



Fuente: G&S Laboratorios

Figura 37. Equivalente de arena en agregado de la mezcla asfáltica MD-12

| FUENTE: CANTERA CONSTRUTURAR | | | | | | |
|--|-----|-----|----------|---|---|---|
| PRUEBAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| PROBETA N° | 1 | 4 | Promedio | | | |
| A, PLG | 5,4 | 5,4 | 5,4 | | | |
| B, PLG | 2,8 | 2,7 | 2,73 | | | |
| $\left(\frac{A}{B} \times 100\right)$ C = , % | 196 | 200 | 198 | | | |
| A = LECTURA DE ARENA B = LECTURA DE ARCILLA C = EQUIVALENTE DE ARENA Cumple: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | | | | | | |

Fuente: G&S Laboratorios

Con lo anterior se puede afirmar que el agregado utilizado para la mezcla asfáltica es acorde a las especificaciones vigentes del IDU capítulo 4.

9.2.2.2. Betún Asfáltico - Bitumen

Este material es obtenido de la planta AJCM, la cual lo compra de un distribuidor de asfaltos, sin embargo, a pesar de contar con certificados de calidad, se realizaron los ensayos que se relacionan a continuación:

Tabla 14: caracterización de material pétreo de Carpeta asfáltica

| CEMENTO ASFALTICO ESPECIFICACION INVIAS CAPITULO 450 | | |
|--|--------------------|-------|
| Penetración | 60-70 6mm - 7mm | 6.5mm |
| Viscosidad absoluta (60° C) | mínimo 150p | 165p |
| Ductilidad 25°C 5cm/min | 1m mínimo | --- |
| Punto de Ignición | 230°C | 240°C |

Fuente: elaboración propia

9.2.3. Mezcla asfáltica

Un dato importante a tener en cuenta en el análisis de los resultados, es que, de acuerdo a los ensayos practicados a las muestras de asfalto, el contenido de bitumen fue del 6.3%, lógico para el tipo de asfalto utilizado, (60-70). A continuación, se muestran los cálculos de acuerdo a la *Figura 38. Contenido de asfalto*

Figura 38. Contenido de asfalto

| EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO INV E 732:2013. MÉTODO A | | | | | | |
|---|---|--------|---|---|---|--------|
| TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL | | | | | | 2037,0 |
| PRUEBA No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| MASA DE LA PORCIÓN DE ENSAYO | g | 2037,0 | | | | |
| MASA DE AGUA EN LA PORCIÓN DE ENSAYO | g | | | | | |
| MASA DEL AGREGADO MINERAL EXTRAÍDO | g | 1906,2 | | | | |
| MASA DEL FILTRO ANTES DE ENSAYO | g | 20,2 | | | | |
| MASA DEL FILTRO DESPUÉS DE ENSAYO | g | 21,2 | | | | |

| CANTIDAD DE MINERAL EN EL EXTRACTO (MÉTODO DE LA CENIZA) | | | | | | |
|--|----|-------|--|--|--|----------|
| | | | | | | PROMEDIO |
| CENIZA EN ALICUOTA | g | 0,015 | | | | |
| VOLUMEN TOTAL (V1) | ml | 4425 | | | | |
| VOLUMEN LUEGO DE REMOVER LA ALICUOTA (V2) | ml | 4325 | | | | |
| MASA DEL MATERIAL MINERAL EN EL EXTRACTO (W4) | g | 0,664 | | | | |
| CONTENIDO DE ASFALTO | % | 6,3 | | | | 6,3 |

Fuente: G&S Laboratorios

Tabla 15: Relación Estabilidad / Flujo Mezcla asfáltica

| RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS - APARATO MARSHALL INV E 748:2013 | | | | | | | | | | |
|---|--------|------------------------|------|-------|------|-----------------------|------|-------|------|-------|
| TIPO DE MUESTRA ENSAYADA | | MUESTRA DE LABORATORIO | | | | NUCLEO TOMADO EN OBRA | | | | |
| BRIQUETA No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | PROMEDIO | | | | |
| ESPESOR DE LA BRIQUETA | mm | 63,9 | 63,9 | 63,5 | 63,7 | | | | | |
| FACTOR DE CORRELACIÓN | | 0,96 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | | | | |
| ESTABILIDAD MEDIDA | kN | 14,3 | 15,2 | 15,1 | 15,3 | | | | | |
| ESTABILIDAD CORREGIDA | N / kg | 13699 | 1397 | 15210 | 1551 | 15080 | 1538 | 15320 | 1563 | 14827 |
| FLUJO | mm | 3,6 | 3,6 | 3,2 | 3,6 | | | | | |
| TEMPERATURA | °C | 60 | 60 | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia

Tabla 16: Resumen de ensayo Marshall

| CEMENTO ASFÁLTICO | Temperatura 15 - 24°C |
|------------------------------|-----------------------|
| Estabilidad | 14.82 KN |
| Flujo | 3.5 mm |
| Relación Estabilidad / Flujo | 4.23 KN/mm |

Fuente: elaboración propia

**Tabla 17: Probetas utilizadas para ensayos de caracterización Mezcla
asfáltica**

| Probeta # | # | Altura de probetas (mm) | Promedio de altura (mm) | Promedio Altura (cm) | Peso Aire (g) | Peso H2O (g) | Peso S.S.S (g) |
|----------------------|----------|--|--|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 1,1 | 64,01 mm | 65,93 mm | 6,59 cm | 1140,00 g | 600,50 g | 1147,90 g |
| | 1,2 | 68,02 mm | | | | | |
| | 1,3 | 65,76 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2 | 2,1 | 69,20 mm | 66,97 mm | 6,70 cm | 1141,70 g | 597,90 g | 1147,30 g |
| | 2,2 | 65,94 mm | | | | | |
| | 2,3 | 65,77 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 3 | 3,1 | 67,65 mm | 66,98 mm | 6,70 cm | 1141,70 g | 605,80 g | 1146,50 g |
| | 3,2 | 66,45 mm | | | | | |
| | 3,3 | 66,85 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 4 | 4,1 | 64,84 mm | 66,77 mm | 6,68 cm | 1137,30 g | 592,50 g | 1145,40 g |
| | 4,2 | 65,16 mm | | | | | |
| | 4,3 | 70,30 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 5 | 5,1 | 65,84 mm | 67,53 mm | 6,75 cm | 1140,20 g | 605,20 g | 1146,40 g |
| | 5,2 | 69,16 mm | | | | | |
| | 5,3 | 67,60 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 6 | 6,1 | 68,55 mm | 67,83 mm | 6,78 cm | 1142,40 g | 608,10 g | 1148,20 g |
| | 6,2 | 66,33 mm | | | | | |
| | 6,3 | 68,60 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 7 | 7,1 | 65,24 mm | 65,99 mm | 6,60 cm | 1142,70 g | 617,80 g | 1145,40 g |
| | 7,2 | 65,81 mm | | | | | |
| | 7,3 | 66,91 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 8 | 8,1 | 68,99 mm | 67,05 mm | 6,70 cm | 1139,50 g | 598,70 g | 1145,30 g |
| | 8,2 | 67,22 mm | | | | | |
| | 8,3 | 64,93 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 9 | 9,1 | 68,91 mm | 69,18 mm | 6,92 cm | 1138,70 g | 602,80 g | 1144,50 g |
| | 9,2 | 69,91 mm | | | | | |
| | 9,3 | 68,71 mm | | | | | |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|----|------|----------|----------|---------|-----------|----------|-----------|
| 10 | 10,1 | 64,29 mm | 65,62 mm | 6,56 cm | 1146,90 g | 615,50 g | 1150,30 g |
| | 10,2 | 66,12 mm | | | | | |
| | 10,3 | 66,44 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 11 | 11,1 | 64,55 mm | 66,25 mm | 6,63 cm | 1141,60 g | 620,80 g | 1144,50 g |
| | 11,2 | 67,35 mm | | | | | |
| | 11,3 | 66,85 mm | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12 | 12,1 | 58,78 mm | 58,94 mm | 5,89 cm | 1042,80 g | 561,80 g | 1045,10 g |
| | 12,2 | 61,00 mm | | | | | |
| | 12,3 | 57,04 mm | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

A partir de lo anterior, se ilustran los cálculos realizados según el ensayo de pérdida por desgaste, Cántabro, de acuerdo a la especificación I.N.V.E 760-13.

Tabla 18: Ensayo de pérdida por desgaste - Cántabro

CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

I.N.V. E – 760 – 13

DATOS DEL ENSAYO

| Referencia | MD-20 | MD-20 | MD-20 |
|---|--------------|---------|---------|
| Muestra | 1 | 2 | 3 |
| Condición de la muestra | Seca | Seca | Seca |
| Descripción | 300 rpm | 300 rpm | 300 rpm |
| Masa de la muestra inicial (g) | 1148,3 | 1142,6 | 1043,6 |
| Masa de la muestra final (g) | 1086,3 | 1084,6 | 986,9 |
| Pérdida (g) | 62 | 58 | 56,7 |
| Porcentaje de pérdida % | 5,40% | 5,08% | 5,43% |
| Porcentaje de pérdida promedio % | 5,30% | | |

Fuente: Elaboración propia

9.2.4. Geomalla Biaxial

La geomalla biaxial fue obtenida de la compañía Geomatrix, la cual tiene un amplio reconocimiento en producción y comercialización de geosintéticos en el país, por lo tanto, los ensayos, así como el certificado de calidad, se adjuntan a este documento.

Es importante mencionar que la geomalla utilizada para los ensayos realizados, fue la FORTGRIND ASPHALT 700, actualmente, Geomatrix cuenta con varios tipos de referencias (140, 160, 300 y 700), su implementación esta limitada al uso o al tipo de obra a realizar, como se explico al inicio de este documento, las condiciones de ejecución de trabajos de este proyecto se direccionaron hacia la recreación de condiciones típicas de obra, llevo a realizar las labores de muestreo de materiales en jornadas de instalación nivelación y compactación de mezcla asfáltica en una obra localizada en la ciudad de Bogotá en la localidad de Kennedy, estos trabajos se realizaron con equipo y personal idóneo para la labor.

Con lo anterior se informa que el tipo de geomalla utilizado fue la referencia 700, debido a que los segmentos viales que se estaban construyendo en la localidad de Kennedy, estaban localizados en vías arteriales por lo que siguiendo las recomendaciones de la especificación técnica IDU, sección 342-11, cita que para vías con tráficos superiores a 3 millones de ejes equivalentes de 80 KN¹³, la resistencia a la tensión ultima en geosintéticos de poliéster, debe ser mayor a 75 KN/m, ¹⁴ por lo que la geomalla FORTGRIND ASPHALT 700, cumple con este requisito fundamental de la especificación.

Tabla 19 : Requerimientos mínimos de las Geomallas para capas asfálticas.

| Propiedad | | Norma de ensayo | Unidad | Fibra de poliéster | | Fibra de vidrio | |
|--|----------|-----------------|--------|--------------------|---------|-----------------|---------|
| | | | | T0 – T3 | T4 – T5 | T0 – T3 | T4 – T5 |
| Resistencia a la tensión última ¹ | MECÁNICA | ASTM D 6637 | KN/m | >50 | > 75 | 50 | 100 |
| Elongación a la rotura | | ASTM D 6637 | % | < 12 | | <3 | |
| Punto de Fusión | FÍSICA | ASTM D 276 | °C | ≥ 240°C | | ≥ 300°C | |
| Resistencia a UV (% de retención) | | ASTM D4355 | % | 98% | | 98% | |
| Abertura máxima de la Geomalla | | Medido | mm | 30 X 30 | | 30 X 30 | |
| Abertura Mínima Geomalla | | Medido | mm | 20 X 20 | | 20 X 20 | |

Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano IDU, Esp. Técnica, Sección 342-11

¹³ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO – IDU, Especificación técnica, desarrollo de los trabajos, sección 107-05, página 7

¹⁴ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO – IDU, Especificación técnica, geomallas en capas asfálticas, sección 342-11, página 2

Por otra parte, a continuación, se ilustran las distintas propiedades físicas de cada una de las referencias de la geomalla FORTGRID ASPHALT, y allí se puede cotejar los valores de la referencia 700, la cual se utilizó en este proyecto.

Tabla 20: propiedades físicas de Geomallas FORTGRID ASPHALT – Geomatrix.

| PROPIEDADES FÍSICAS | NORMA DE ENSAYO | UNIDAD | VALORES | | | |
|--|-----------------|--------|--|-----|-----|-----|
| | | | 140 | 160 | 300 | 700 |
| Factor de eficiencia para control de reflejo de agrietamiento GEF ⁽²⁾ | AASHTO T321 | | 1,4 | 1,6 | 3,2 | 7,0 |
| Tipo de polímero | AASHTO T321 | | Fibras multifilamento de poliéster de alta tenacidad PET, recubiertas con copolímero butiminoso de alto desempeño. | | | |
| Resistencia a altas temperaturas (punto de ablandamiento) | ASTM D 276 | °C | 240 | | | |
| Tamaño de abertura | Medido | mm | 27 | 28 | 24 | 22 |
| | | | 29 | 26 | 26 | 22 |
| Porcentaje de área abierta | Medido | % | 64 | 55 | 46 | 43 |

Fuente: Geomatrix, ficha técnica geomallas FORTGRID ASPHALT

10.RESULTADOS Y ANÁLISIS

Partiendo de los procesos de campo ejecutados, se procede con realizar pruebas en el laboratorio de las placas, teniendo las muestras cortadas en el laboratorio (con refuerzo y sin refuerzo), se procede a hacer los respectivos ensayos de los mismos.

El equipo utilizado fue una maquina computarizada MTS, el cual aplica una carga con la velocidad controlada de la misma, la velocidad usada para el ensayo fue de 1mm/s.

Las primeras muestras a fallar fueron las que contaban con una base compactada y un confinamiento, esto con el fin de intentar hacer una simulación del comportamiento real en campo de la estructura.

Es de anotar que el área del pistón es de 10cm de diámetro, las placas se les realizo un precorte de 1 cm para inducir una falla, teniendo en cuenta que la fatiga en un espesor de placa de 8 cm implicaba a simplificar el ensayo.

Figura 39. Muestra sin refuerzo y con base granular



Fuente: Elaboración propia

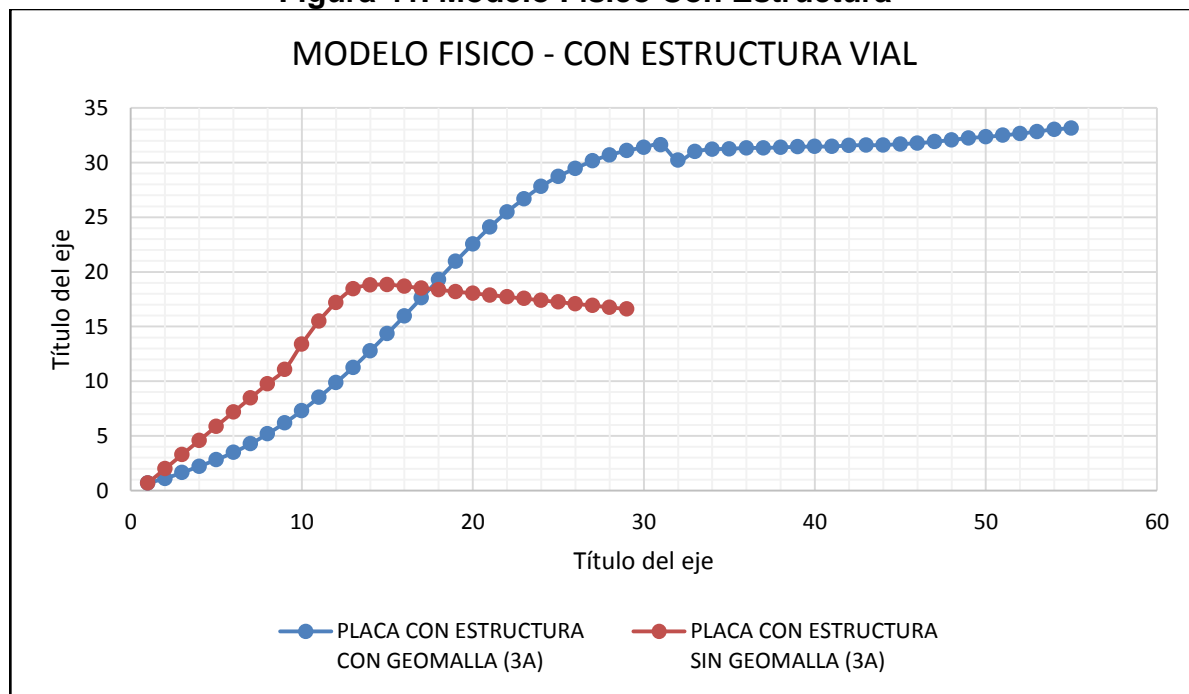
Figura 40. Muestra con refuerzo y con base granular



Fuente: Elaboración propia

Después de fallar las placas de concreto asfáltico se obtienen las cargas últimas con las que se obtuvo la falla de las muestras obteniendo lo siguiente:

Figura 41. Modelo Físico Con Estructura



Fuente: Elaboración propia

La carga con la que se presentó la falla para la estructura sin refuerzo fue de 18.84 Kn y de la que tiene refuerzo fue de 33.13Kn, obteniendo una durabilidad mayor del 56% en la estructura con refuerzo de geomalla.

Con base al ensayo anterior se hizo el mismo ejercicio pero sin el uso de la base granular para conocer la incidencia de este material en los resultados que se obtienen.

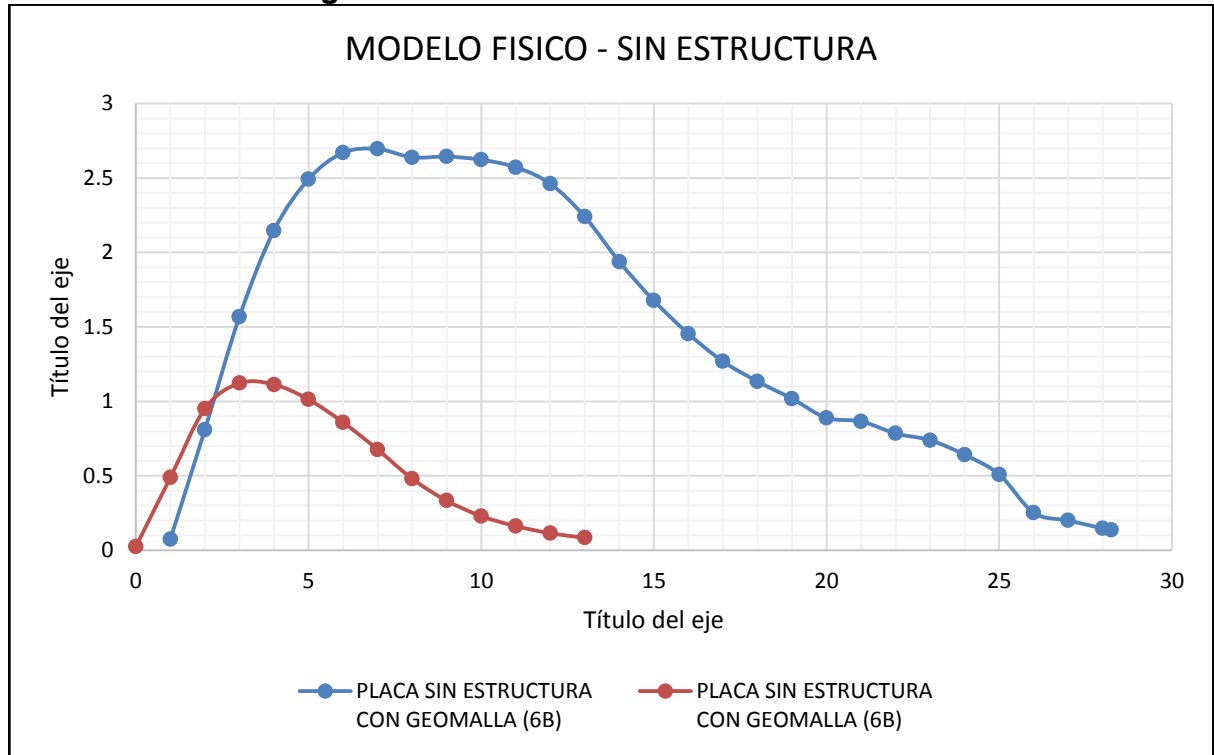
Figura 42. Muestra sin base granular



Fuente: Elaboración propia

Las cargas últimas obtenidas en el ensayo fueron de 1.12 KN para la muestra sin refuerzo y de 2.69 Kn para la muestra con refuerzo, obteniendo lo siguiente:

Figura 43. Modelo físico sin estructura



Fuente: Elaboración propia

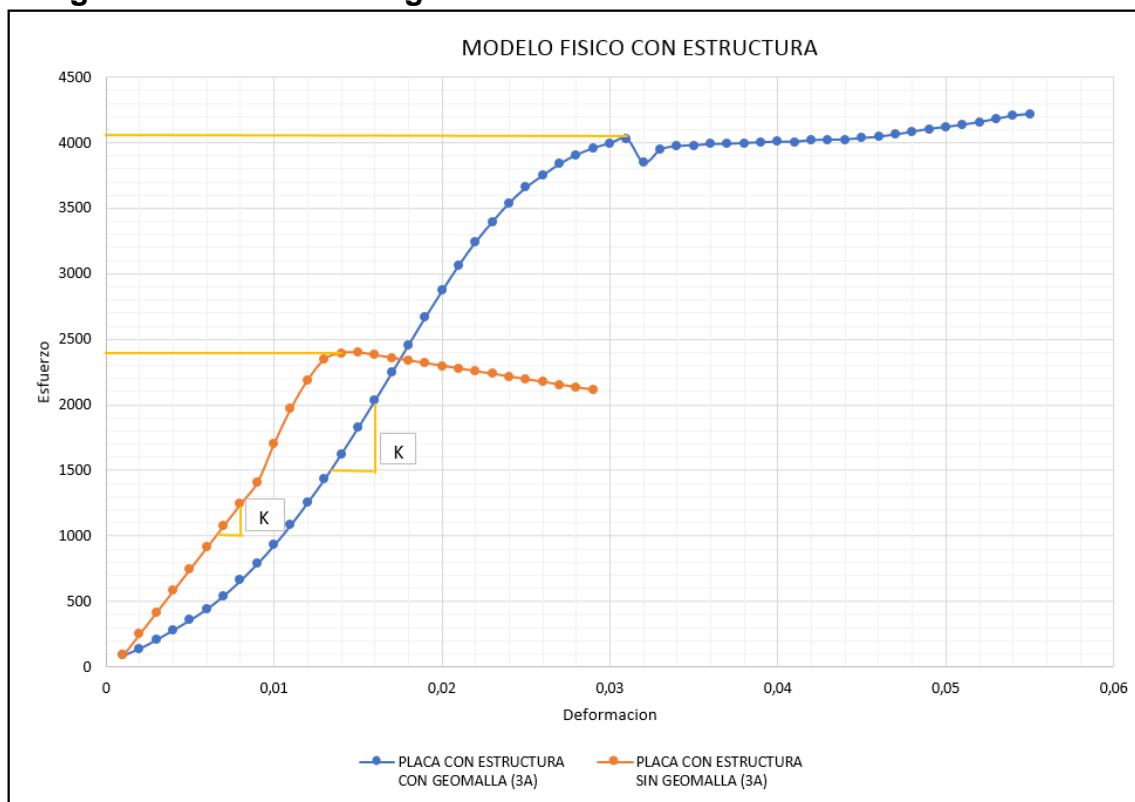
Con base en la gráfica anterior se entiende que el refuerzo da una durabilidad superior de aproximadamente el 42% sobre la estructura sin refuerzo, proporcional directamente a una carga constante y una velocidad controlada.

Al comparar las figuras 26 y 28 se ve claramente la incidencia que tiene de soporte la estructura granular que es la que se usa normalmente en las vías que se ejecutan en la actualidad.

En la siguiente gráfica, se ilustra el comportamiento del modelo físico con estructura de base granular, de igual forma se calcula la rigidez en cada uno de los modelos físicos.

La rigidez del modelo físico de placa con geomalla, fue de 206.000 KPa, y para el modelo físico de placa sin geomalla 150.000 KPa, esto concluye que la placa con geomalla tiene un comportamiento que propicia el aumento de la rigidez por ende el modulo de la estructura tiene a aumentar en comparación con el modelo físico de placa sin geomalla.

Figura 44. Calculo de Rigidez de la mezcla asfaltica en el modelo fisico



Fuente: Elaboración propia

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basados en los análisis concluyentes de este documento, es recomendable tener en cuenta el espesor o calibre de las láminas de las urnas del modelo físico, toda vez que el confinamiento el cual está sometida la base granular por la primera invariante de esfuerzos o la carga monotónica a la cual es sometida, es muy alta por lo cual las paredes deben soportar dicha carga resultante.

De igual forma, si se quiere, es recomendable usar una ventana o un acrílico con un espesor considerable mínimo de 1 centímetro, para que se soporten las cargas que soportara.

Por otra parte, entre las características mecánicas del material de soporte o base granular utilizado, es recomendable para el cálculo de la densidad de dicho material, humedecer el material en un espacio suficiente para garantizar el contenido óptimo de agua, y así obtener las densidades máximas.

Teniendo en cuenta el confinamiento a la cual es sometida la placa, no se recomienda realizar imprimación entre la base granular y la placa de concreto asfáltico.

Es recomendable realizar varias urnas para que cada placa sea sometida a condiciones reales de confinamiento controlado, lo anterior se sustenta en el hecho que la base granular podría sufrir deformaciones al cambiar las placas, por ende, al tener cada modelo físico en urnas independientes, se garantizara que el modelo no tenga alteraciones por consolidación del material granular.

Partiendo de los resultados obtenidos, es evidente que el uso de la geomalla, a pesar de tener un costo en el mercado por metro cuadrado cercano a los \$12.000 m², a priori, se podría considerar elevado en el corto plazo, sin embargo, se recomienda su uso en obra, toda vez que en el largo plazo garantizara la vida útil del pavimento, esto se sustenta.

Es prudente tener en cuenta en los procesos constructivos, que el comportamiento observado en experiencias de obra pone en evidencia el alto nivel de deterioro que sufren las geomallas de fibra de vidrio durante la etapa de instalación, por lo que, para el caso de las geomallas de poliéster, como en el caso de este proyecto, es prácticamente imperceptible, se recomienda el uso de este tipo de geomalla.

Con lo anterior, no se pretende dar un juicio de valor con respecto a las geomallas de fibra de vidrio, todo lo contrario, de hecho, la especificación técnica del IDU Sección 342, menciona los dos tipos de geomalla que se pueden

utilizar; sin embargo, las experiencias que se tienen de uso de geomalla de poliéster con respecto a las de vibra de vidrio han sido más exitosas.

12. BIBLIOGRAFIA

SERGIO ALONSO ALVARADO SÁNCHEZ (2012), Análisis técnico sobre el uso de geomallas de refuerzo para la pavimentación y repavimentación de carreteras. ICOTEC

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (2008). Informe de asesoría: Análisis estructural del pavimento Esterillos- Loma.

CR-77: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes.

JAIME RAFAEL OBANDO ANTE (2016), Desempenho de misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos.

Ing. MBA Augusto Alza Vilela,(s.f). Importancia de las geomallas en la construcción de carreteras, recuperado de <http://vialidadytransporte.com/noticia/15-importancia-geomallas-construccion-carreteras>.

Geomatrix, November 03, 2016.Tres ventajas del uso de las geomallas de poliéster en el refuerzo de capas asfálticas. <http://blog.geomatrix.co/tres-ventajas-del-uso-de-las-geomallas-de-poli%C3%A9ster-en-el-refuerzo-de-capas-asf%C3%A1lticas>.

Más de 300 calles estarán arregladas a final de año en Suba, 2018. Recuperado de <http://www.bogota.gov.co/temas-de-ciudad/movilidad/calles-de-suba-seran-arregladas-en-bogota>.